



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**MATERIAL COMPLEMENTARIO PARA LA
RESOLUCION DE PROBLEMAS DE OPERACIONES
UNITARIAS II.**

INTERCAMBIADORES DE CALOR

TABLA 4. CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE LIQUIDOS *

$$k = \frac{1}{(h)(\text{pie}^2)}(\text{°F}/\text{pie})$$

Puede suponerse una variación lineal con la temperatura. Los valores extremos que se dan constituyen también los límites de temperatura en los cuales se recomiendan los datos.

Líquido	°F	k	Líquido	°F	k
Aceites			Bromobenceno	86	0.074
Ricino	68	0.104	Bióxido de azufre	212	0.070
Oliva	68	0.097	Bisulfuro de carbono	86	0.111
Acetato de etilo	212	0.095	Tetracloruro	86	0.093
Alcohol 100%	68	0.101	Cloruro de calcio, salmuera 30%	167	0.088
80%	68	0.105	15%	32	0.107
60%	68	0.137	Cloruro de sodio, salmuera 25.0%	154	0.094
40%	68	0.176	12.5%	86	0.32
20%	68	0.224	Clorobenceno	86	0.34
100%	68	0.281	Cloroformo	86	0.33
Benceno	122	0.087	Cymene (para)	86	0.34
Bromuro	86	0.086	Decano (n-)	50	0.083
Eter	140	0.082	Diclorodifluorometano	86	0.080
Yoduro	68	0.070	20	140	0.079
Acetato de amilo	86	0.080	60	86	0.085
Alcohol (n-)	167	0.078	100	140	0.083
86	104	0.064	180	20	0.057
212	167	0.063	122	60	0.053
86	167	0.083	5	100	0.048
167	77-86	0.085	86	140	0.043
Acetato butílico (n-)	86	0.094	180	180	0.038
Alcohol (n-)	167	0.089	122	122	0.082
86	86	0.088	5	5	0.111
167	86	0.097	86	86	0.096
(iso-)	167	0.095	Eter de petróleo	86	0.075
Acetona	50	0.091	Etilen glicol	167	0.073
Acido acético 100%	86	0.102	Gasolina	32	0.153
50%	167	0.095	Glicerina 100%	86	0.078
Acido esteárico	68	0.099	80%	68	0.164
Acido láurico	68	0.20	60%	68	0.189
Acido oleico	212	0.0786	40%	68	0.220
Acido palmítico	212	0.102	20%	68	0.259
Acido sulfúrico 90%	212	0.0925	100%	68	0.278
60%	212	0.0835	Heptano (n-)	212	0.164
30%	86	0.21	Hexano (n-)	86	0.081
Agua	86	0.25	Kerosena	140	0.079
32	86	0.30	68	86	0.080
86	32	0.330	167	140	0.078
140	86	0.356	Mercurio	68	0.086
176	140	0.381	Nitrobenceno	167	0.081
Alcohol alílico	176	0.398	Nitrometano	82	4.83
Alcohol heptílico (n-)	77-86	0.104	Nonano (n-)	86	0.095
Alcohol hexílico (n-)	86	0.094	Octano (n-)	212	0.088
Alcohol metílico 100%	167	0.091	Paraldehído	86	0.125
80%	86	0.093	Pentano (n-)	140	0.120
60%	167	0.090	Percloroetileno	86	0.084
40%	68	0.124	Sodio	140	0.082
20%	68	0.154	212	86	0.083
100%	68	0.190	410	140	0.081
Cloruro	68	0.234	Tolueno	86	0.086
5	68	0.284	167	167	0.084
86	122	0.114	212	122	0.077
86	5	0.111	β-tricloroetano	122	0.080
86	86	0.089	Tricloroetileno	59	0.074
Alcohol propílico (n-)	86	0.099	Turpentina (aguarrás)	59	0.074
Alcohol (iso-)	167	0.095	Vaselina	59	0.106
86	86	0.091	Xileno (orto-)	68	0.090
140	140	0.090	Xileno (meta-)	68	0.090
Amoniaco	5-86	0.29			
Amoniaco, acuoso, 26%	68	0.261			
Anilina	140	0.29			
Benceno	32-68	0.100			
	86	0.092			
	140	0.087			

TABLA 5. CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE GASES Y VAPORES *

$$k = \text{Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F}/\text{pie})$$

Los valores extremos de la temperatura constituyen el rango experimental. Para extrapolación a otras temperaturas, se sugiere que los datos consignados se grafiquen como log de k vs. log de T o que se haga uso de la suposición de que la razón c_{μ}/k es prácticamente independiente de la temperatura (o de la presión, dentro de límites moderados).

Sustancia	°F	k	Sustancia	°F	k	
Acetato de etilo	115	0.0072	Diclorodifluorometano	32	0.0048	
	212	0.0096		122	0.0064	
	363	0.0141		212	0.0080	
Alcohol	68	0.0089		302	0.0097	
	212	0.0124	Etano	-94	0.0066	
Cloruro	32	0.0055			-29	0.0086
	212	0.0095		32	0.0106	
	363	0.0135		212	0.0175	
Eter	413	0.0152	Etileno	-96	0.0064	
	32	0.0077		32	0.0101	
	115	0.0099		122	0.0131	
	212	0.0131		212	0.0161	
Acetona	363	0.0189	Heptano (n-)	392	0.0112	
	413	0.0209		212	0.0103	
	32	0.0057	Hexano (n-)	32	0.0072	
	115	0.0074		68	0.0080	
Acetileno	212	0.0099	Hexeno	32	0.0061	
	363	0.0147		212	0.0109	
	-103	0.0068		Hidrógeno	-148	0.065
	32	0.0108			-58	0.083
122	0.0140	32	0.100			
212	0.0172	122	0.115			
Aire	212	0.0095		212	0.129	
	32	0.0140		572	0.178	
	212	0.0183	Hidrógeno y bióxido de carbono.	32		
	392	0.0226		0% H ₂	0.0083	
572	0.0265	20%		0.0165		
Alcohol metílico	32	0.0083		40%	0.0270	
	212	0.0128		60%	0.0410	
	Acetato	32	0.0059	80%	0.0620	
68		0.0068	100%	0.10		
Amoniaco		-76	0.0095	Hidrógeno y nitrógeno	32	
	32	0.0128	0 H ₂		0.0133	
	122	0.0157	20%		0.0212	
	212	0.0185	40%		0.0313	
	Benceno	32	0.0052		60%	0.0438
115		0.0073	80%	0.0635		
212		0.0103	Hidrógeno y óxido nitroso	32		
363		0.0152		0% H ₂	0.0002	
413		0.0176		20%	0.0170	
Bióxido de azufre	32	0.0050		40%	0.0270	
	212	0.0069		60%	0.0410	
	Bióxido de carbono	-58	0.0068	80%	0.0650	
		32	0.0085	Mercurio	392	0.0197
212		0.0133	-148		0.0100	
392		0.0181	-58		0.0145	
572	0.0228	32	0.0175			
Bisulfuro	32	0.0040	Metano	122	0.0215	
	45	0.0042		-148	0.0095	
Monóxido	-312	0.0041	Nitrógeno	32	0.0140	
	-294	0.0046		122	0.0160	
	32	0.0135		212	0.0180	
	115	0.0041		-94	0.0103	
Tetracloruro	212	0.0052	Oxido nítrico	32	0.0138	
	363	0.0065		-98	0.0067	
	Butano (n-)	32		0.0078	Oxido nitroso	32	0.0087
212		0.0135	212	0.0128		
32		0.0080	-148	0.0095		
Butano (iso-)	212	0.0139	Oxígeno	-58	0.0119	
	216	0.0095		32	0.0142	
	122	0.0164		212	0.0185	
Ciclohexano	32	0.0043	Pentano (n-)	32	0.0074	
Cloro	32	0.0038		68	0.0083	
Cloroformo	115	0.0046		32	0.0072	
	212	0.0058	(iso-)	212	0.0127	
	363	0.0077				

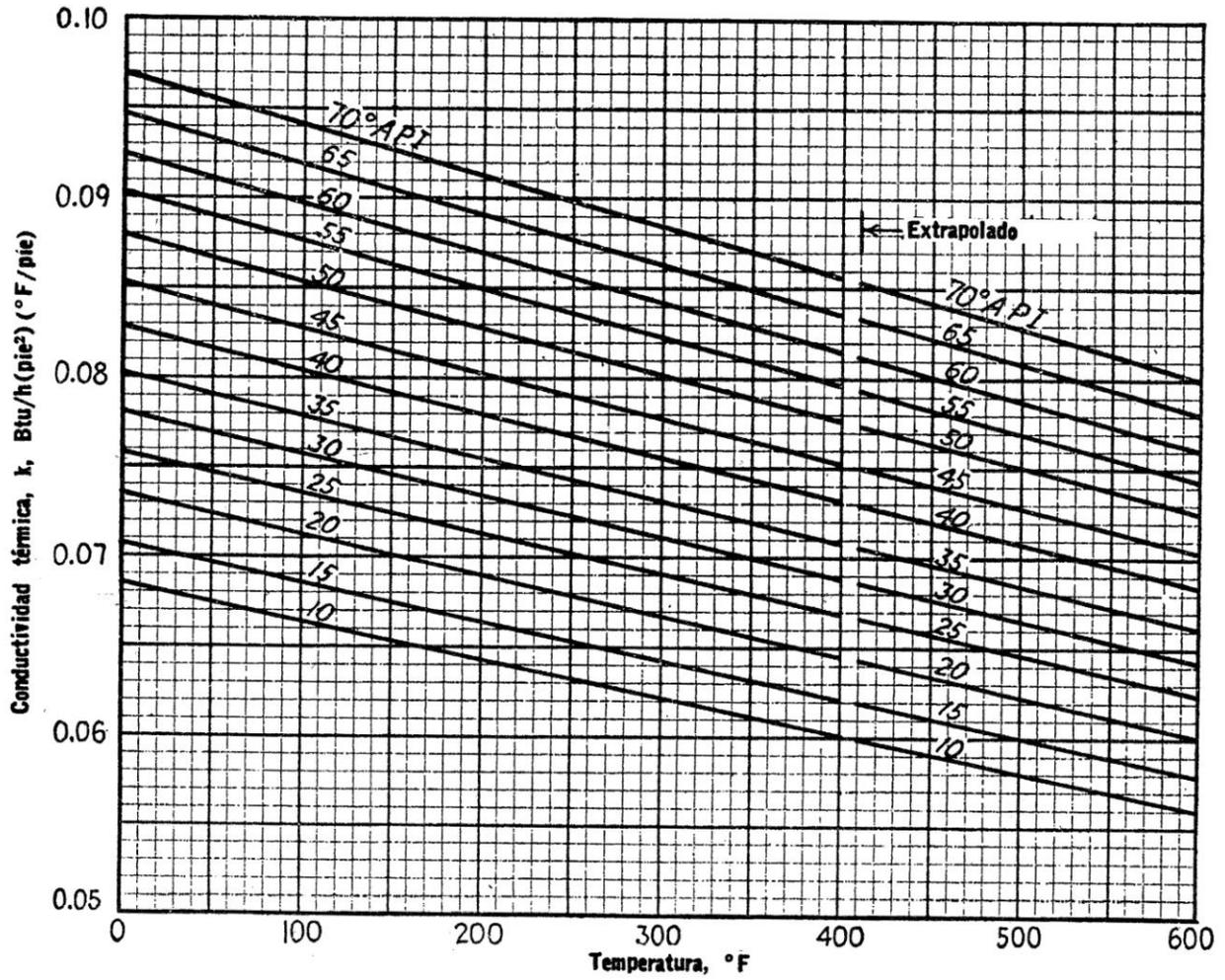


FIG. 1. Conductividades térmicas de hidrocarburos líquidos. (Adaptado del Natl. Bur. Standards Misc. Pub. 97)

Calor específico = Btu/(lb)(grado F)

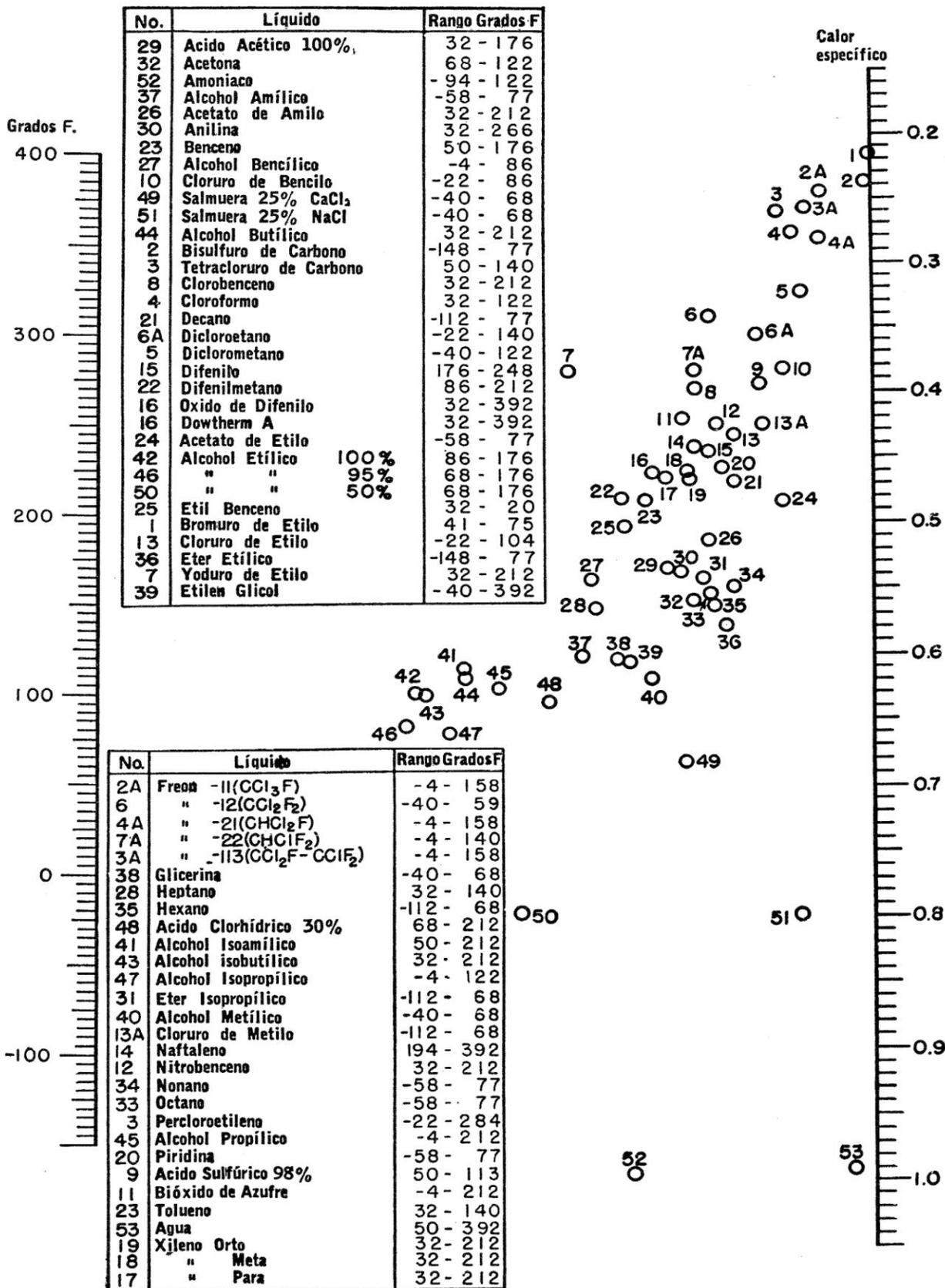


FIG. 2. Calores específicos de líquidos. (Chilton, Colburn, and Vernon, basados principalmente en datos de las Tablas Internacionales de Valores Críticos. Perry "Chemical Engineers' Handbook", 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1950)

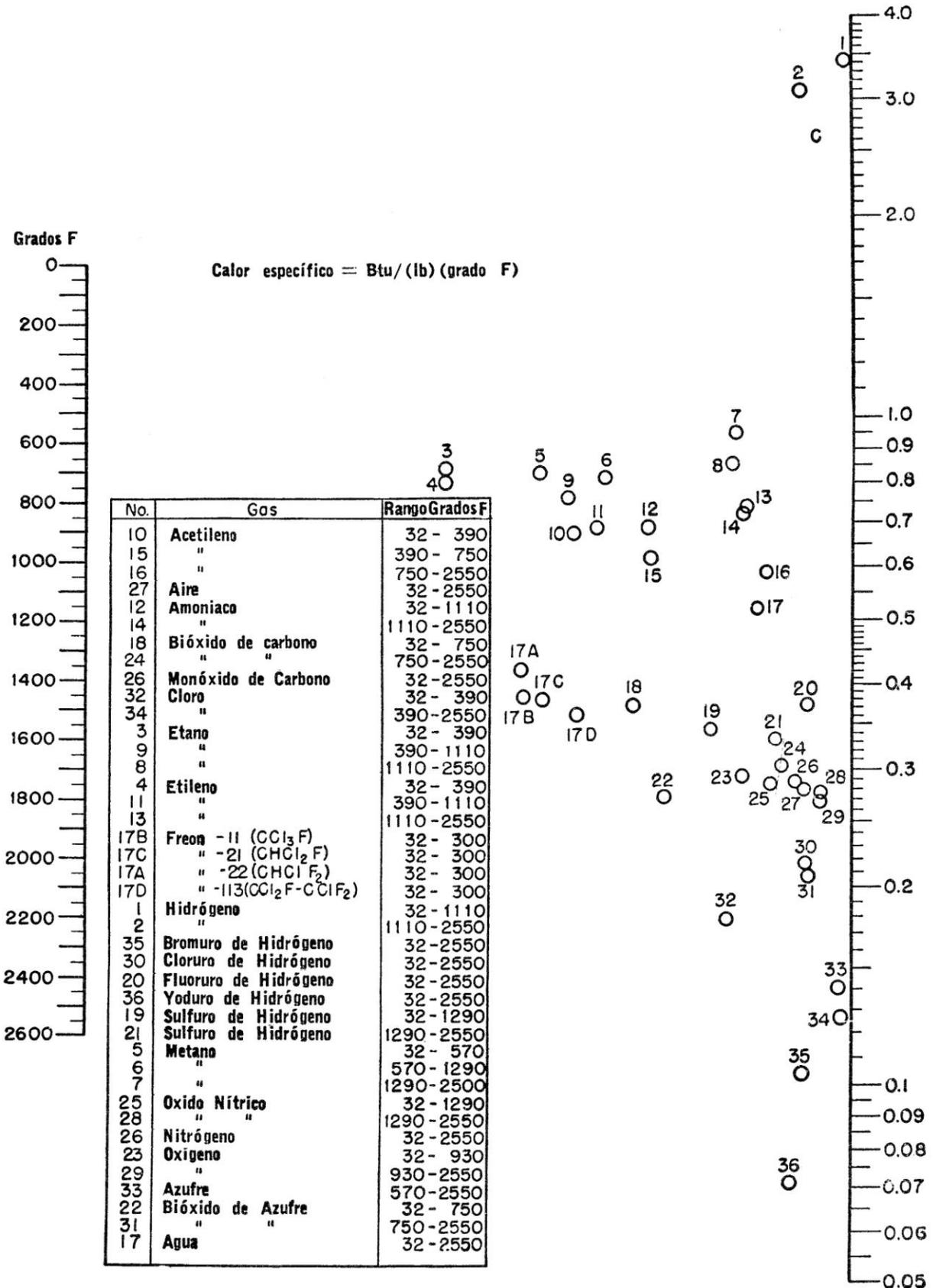


FIG. 3. Calores específicos de gases a 1 atm. (Perry, "Chemical Engineers' Handbook", 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1950)

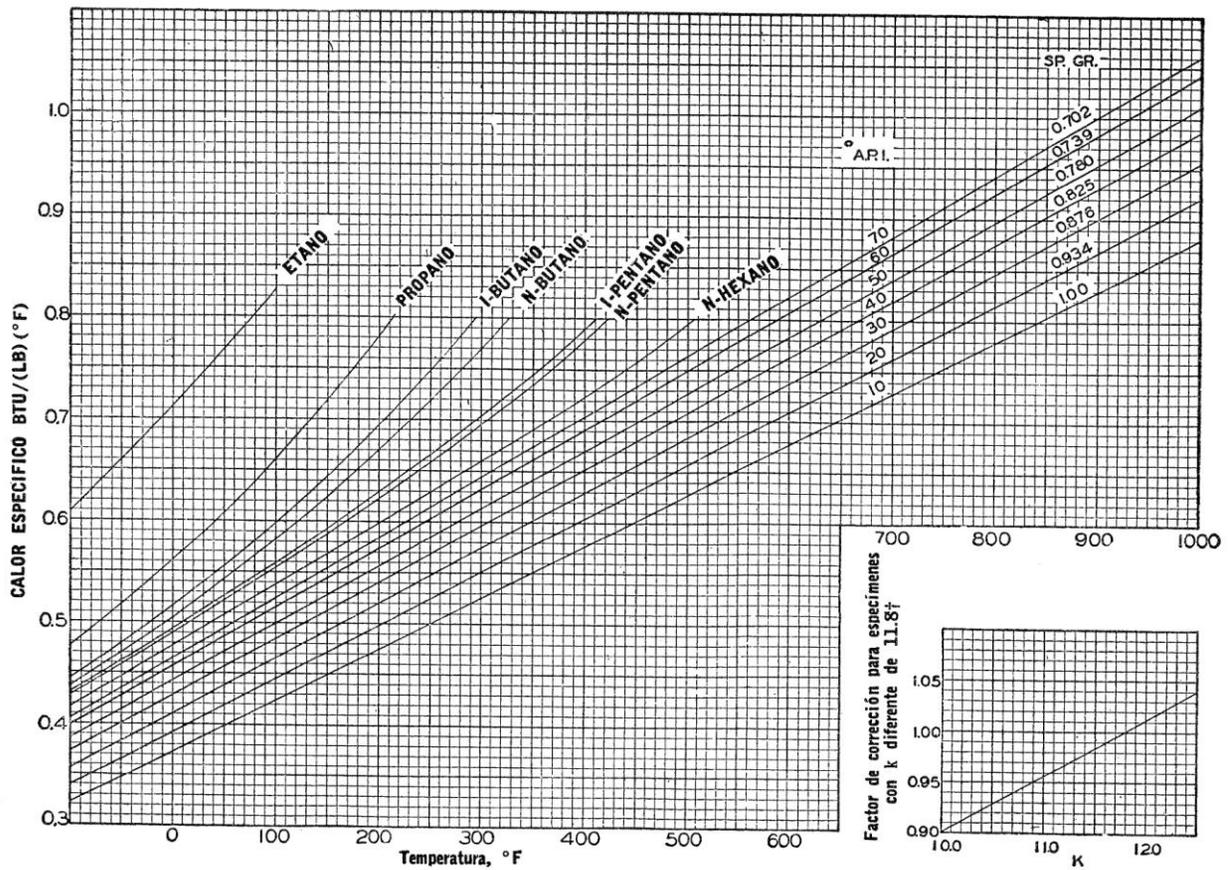


FIG. 4. Calores específicos de hidrocarburos líquidos. [Holcomb and Brown, *Ind. Eng. Chem.* 34, 595 (1942)]

† K = Factor de caracterización

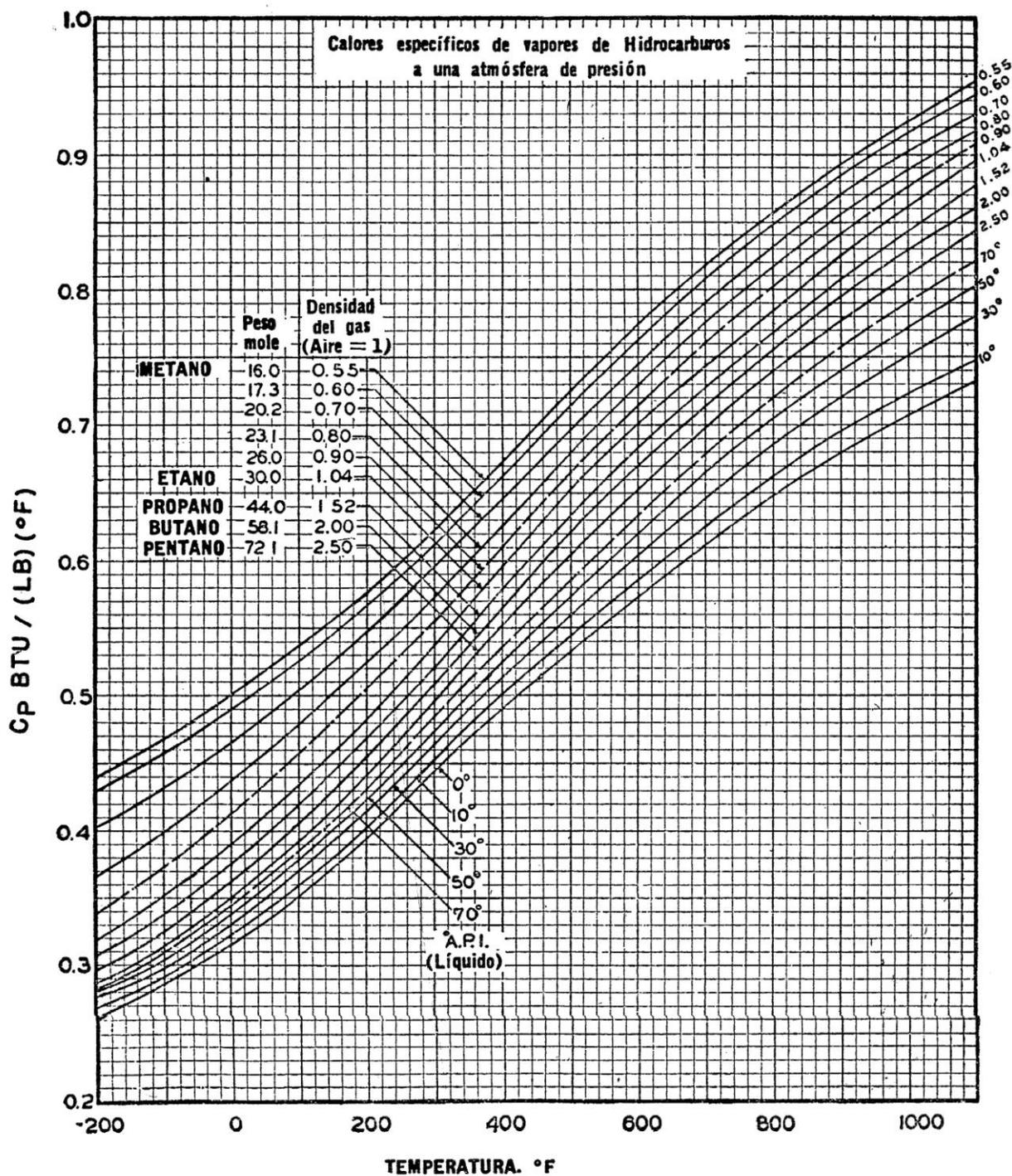


FIG. 5. Calores específicos de vapores de hidrocarburos a 1 atm. [Holcomb and Brown, *Ind. Eng. Chem.*, 34, 595 (1942)]

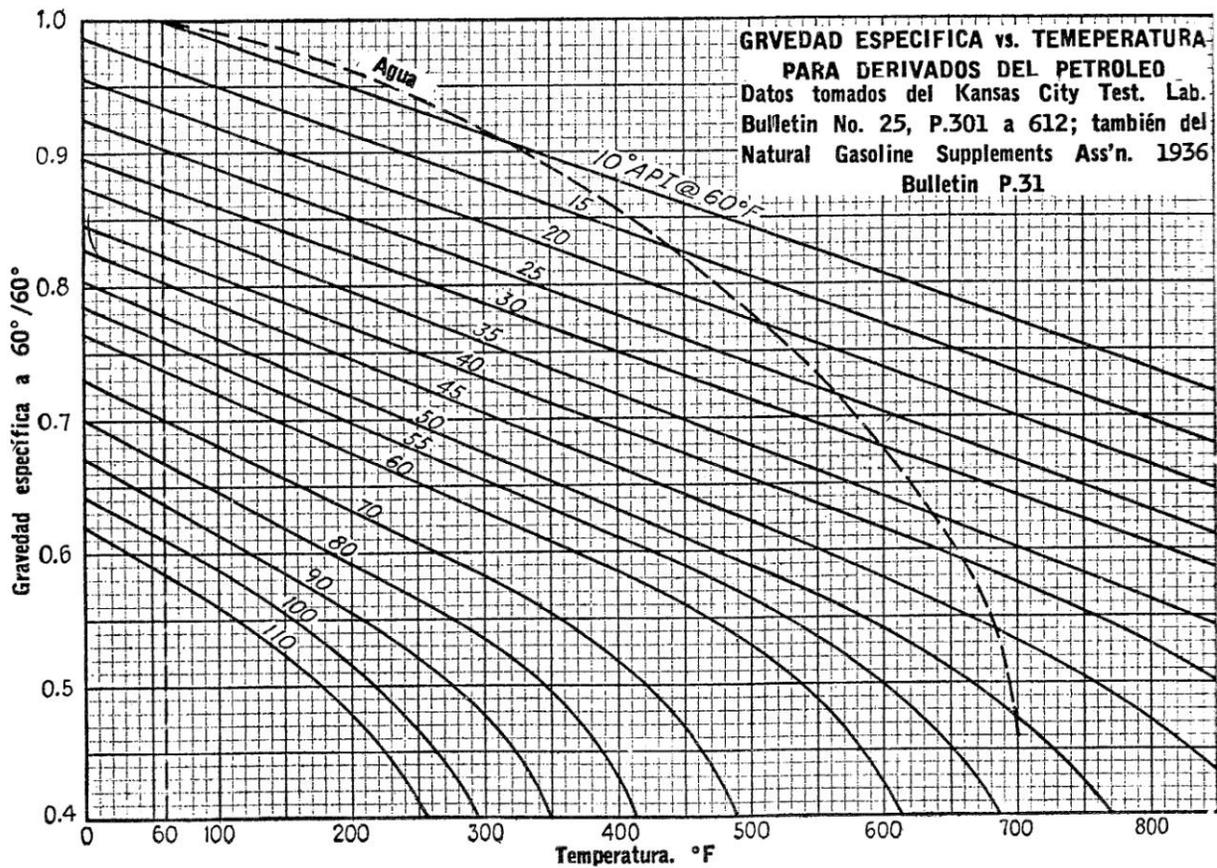


FIG. 6. Gravedades específicas de hidrocarburos

TABLA 6. GRAVEDADES ESPECIFICAS Y PESO MOLECULAR DE LIQUIDOS

Compuesto	Mol.	S *	Compuesto	Mol.	S *
Acetaldehído	44.1	0.78	Cloruro de etilo	64.5	0.92
Acetato de amilo	130.2	0.88	Cloruro de metilo	50.5	0.92
Acetato de etilo	88.1	0.90	Cloruro de n-propilo	78.5	0.89
Acetato de metilo	74.9	0.93	Cloruro de sulfúrico	135.0	1.67
Acetona	58.1	0.79	Dibrometano	187.9	2.09
Acetato de butilo	116.2	0.88	Dicloroetano	99.0	1.17
Acetato de vinilo	86.1	0.93	Diclorometano	88.9	1.34
Agua	18.0	1.0	Difenilo	154.2	0.99
Acido acético 100%	60.1	1.05	Eter etílico	74.1	0.71
Acido acético 70%		1.07	Etilbenceno	106.1	0.87
Acido n-butírico	88.1	0.96	Etilglicol	88.1	1.04
Acido i-butírico	88.1	0.96	Fenol	94.1	1.07
Acido clorosulfónico	116.5	1.77	Formiato de etilo	74.1	0.92
Acido fórmico	46.0	1.22	Glicerina 100%	92.1	1.26
Acido nítrico 95%		1.50	Glicerina 50%		1.13
Acido nítrico 60%		1.38	n-heptano	100.2	0.68
Acido propiónico	74.1	0.99	n-hexano	86.1	0.66
Acido sulfúrico 100%	98.1	1.83	Hidróxido de sodio 50%		1.53
Acido sulfúrico 98%		1.84	Yoduro de etilo	155.9	1.93
Acido sulfúrico 60%		1.05	Yoduro de n-propilo	170.0	1.75
Alcohol alílico	58.1	0.86	Mercurio	200.6	13.55
Alcohol amílico	88.2	0.81	Metacresol	108.1	1.03
Alcohol n-butílico	74.1	0.81	Metanol 100%	32.5	0.79
Alcohol i-butílico	74.1	0.82	Metanol 90%		0.82
Alcohol etílico 100%	46.1	0.79	Metanol 40%		0.94
Alcohol etílico 95%		0.81	Metiltilcetona	72.1	0.81
Alcohol etílico 40%		0.94	Naftaleno	128.1	1.14
Alcohol isopropílico	60.1	0.79	Nitrobenceno	123.1	1.20
Alcohol octílico	130.23	0.82	Nitrotolueno, orto	137.1	1.16
Alcohol n-propílico	60.1	0.80	Nitrotolueno, meta	137.1	1.16
Amoniaco 100%	17.0	0.61	Nitrotolueno, para	137.1	1.29
Amoniaco 26%		0.91	n-octano	114.2	0.70
Anhídrido acético	102.1	1.08	Oxalato de dietilo	146.1	1.08
Anilina	93.1	1.02	Oxalato de dimetilo	118.1	1.42
Anisol	108.1	0.99	Oxalato de dipropilo	174.1	1.02
Benceno	78.1	0.88	Pentacloroetano	202.3	1.67
Bióxido de azufre	64.1	1.38	n-pentano	72.1	0.63
Bióxido de carbono	44.0	1.29	Propano	44.1	0.59
Bisulfuro de carbono	76.1	1.26	Salmuera, Ca Cl, 25%		1.23
Bromotolueno, orto	171.0	1.42	Salmuera, Na Cl, 25%		1.19
Bromotolueno, meta	171.0	1.41	Sodio	23.0	0.97
Bromotolueno, para	171.0	1.39	Tetracloroetano	167.9	1.60
Bromuro de etilo	108.9	1.43	Tetracloroetileno	165.9	1.63
Bromuro de n-propilo	123.0	1.35	Tetracloruro de carbono	153.8	1.60
n-butano	58.1	0.60	Tetracloruro de titanio	189.7	1.73
i-butano	58.1	0.60	Tribromuro de fósforo	270.8	2.85
Ciclohexanol	100.2	0.96	Tricloruro de arsénico	181.3	2.16
Clorobenceno	112.6	1.11	Tricloruro de fósforo	137.4	1.57
Cloroformo	119.4	1.49	Tricloroetileno	131.4	1.46
Clorotolueno, orto	126.6	1.08	Tolueno	92.1	0.87
Clorotolueno, meta	126.6	1.07	Xileno, orto	106.1	0.87
Clorotolueno, para	126.6	1.07	Xileno, meta		0.86
Cloruro estánico	260.5	2.23	Xileno, para		0.86

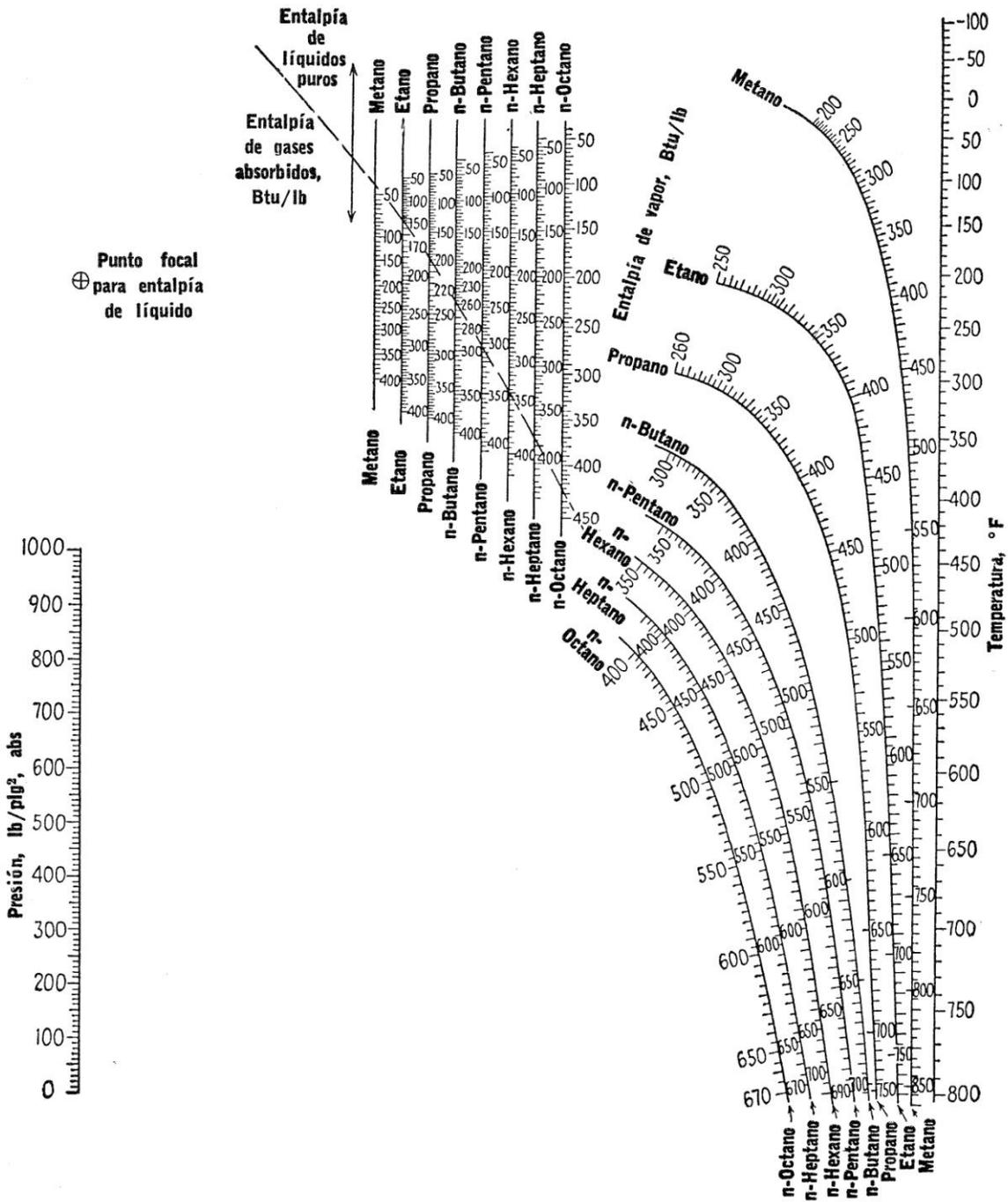


FIG. 9. Entalpías de hidrocarburos puros. [Scheibel and Jenny, Ind. Eng. Chem., 37, 992 (1945)]

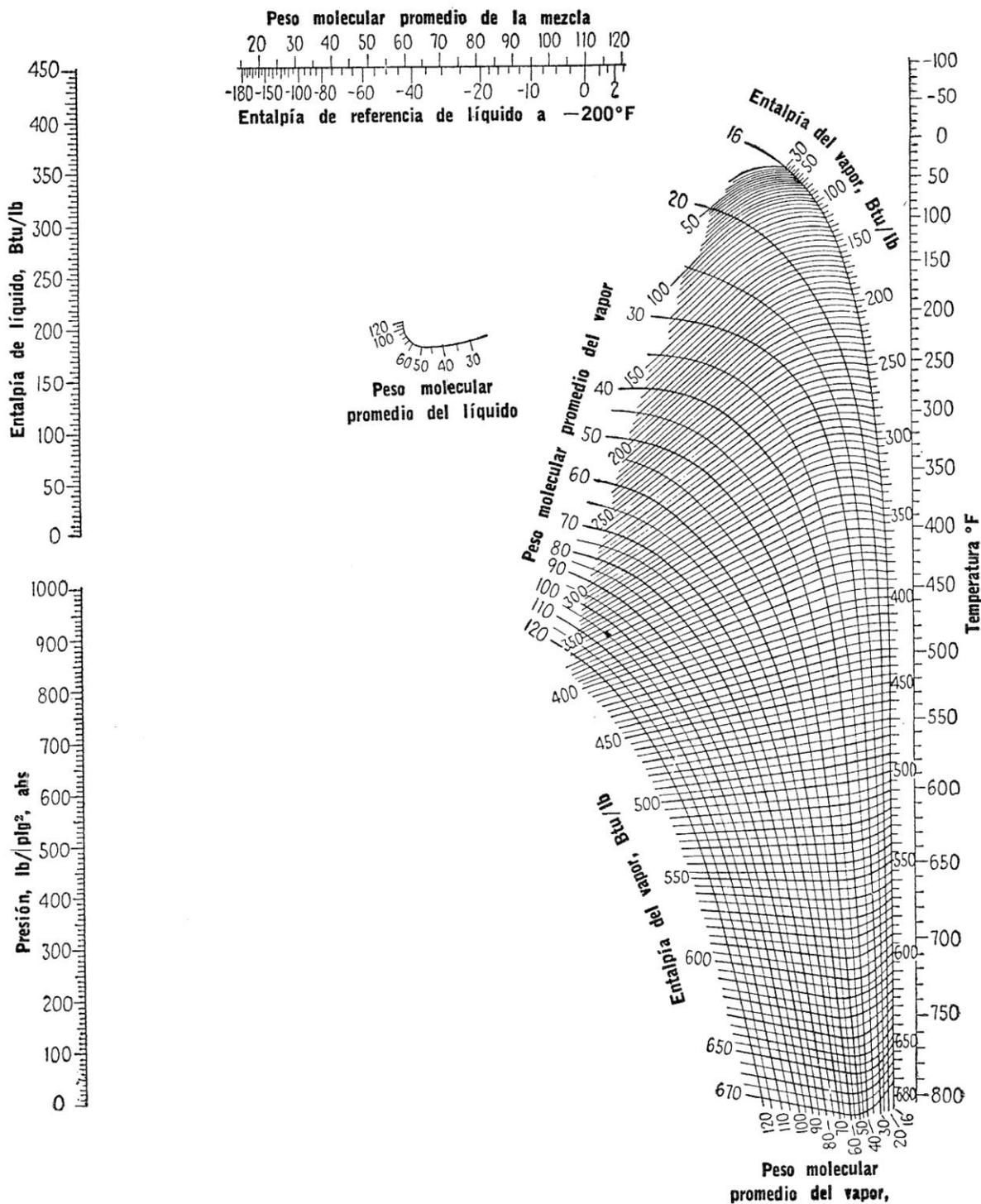


FIG. 10. Entalpías de hidrocarburos ligeros. [Scheibel and Jenny, *Ind. Eng Chem.*, 37, 993 (1945)]

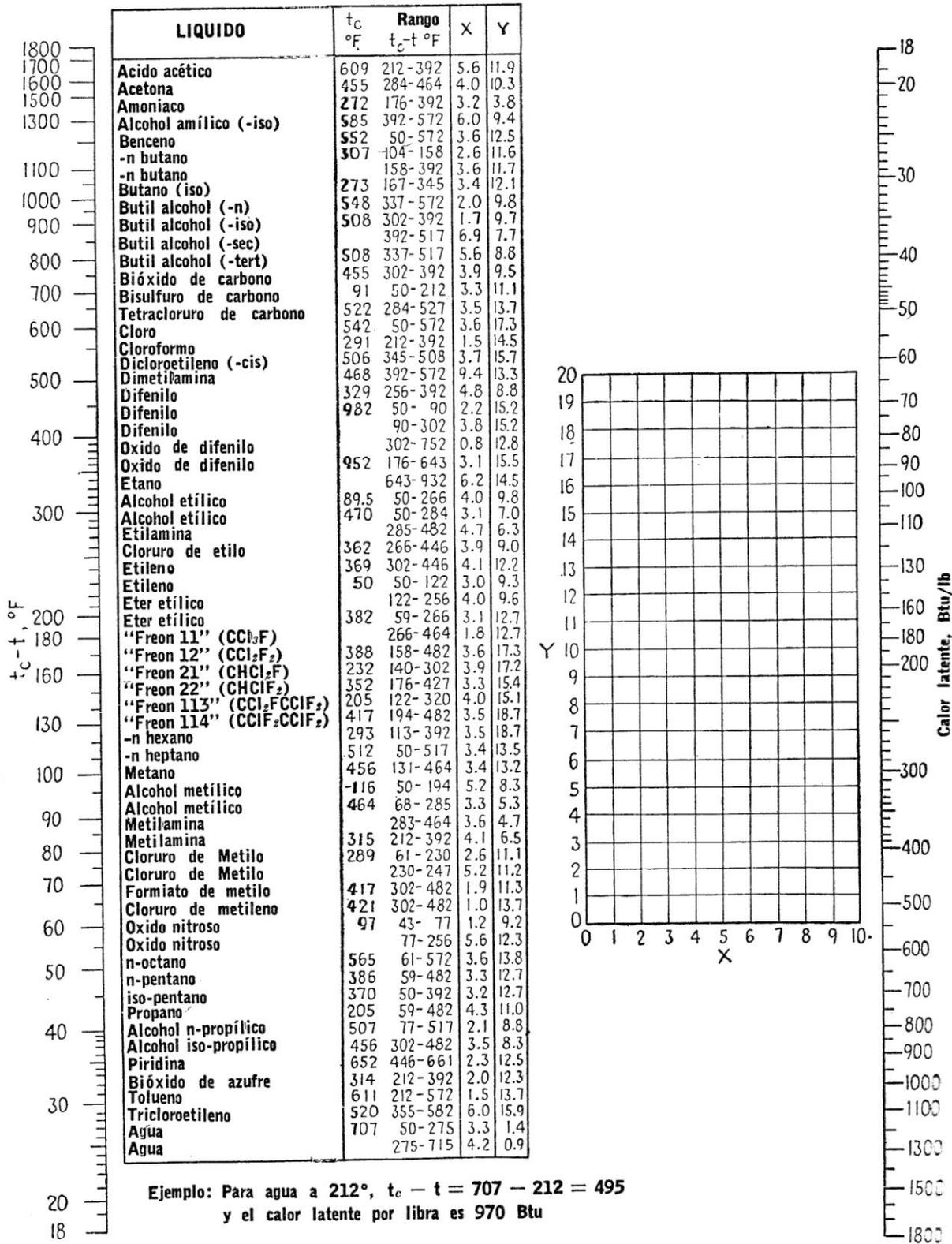


FIG. 12. Calores latentes de vaporización. [Reproducida con permiso de Chilton, Colburn, and Vernon, comunicación personal (revisado) 1947]

VISCOSIDADES DE FRACCIONES DE PETROLEO
Para rangos de temperatura empleados en el texto
las Coordenadas deberán usarse con la Fig. 14

	X	Y
76°API gasolina natural	14.4	6.4
56°API gasolina	14.0	10.5
42°API kerosén	11.6	16.0
35°API destilado	10.0	20.0
34°API crudo continental	10.3	21.3
28°API gas-oil	10.0	23.6

VISCOSIDADES DE ACEITES ANIMALES Y VEGETALES*

	Acido No.	Grav. Esp. 20/4°C	X	Y
Almendra	2.85	0.9188	6.9	28.2
Coco	0.01	0.9226	6.9	26.9
Hígado de bacalao .....	.....	0.9138	7.7	27.7
Algodón	14.24	0.9187	7.0	28.0
Lardo	3.39	0.9138	7.0	28.2
Linaza	3.42	0.9297	6.8	27.5
Mostaza .....	.....	0.9237	7.0	28.5
Aceite de manitas	13.35	0.9158	6.5	28.0
Oliva .....	.....	0.9158	6.6	28.3
Aceite de palma	9.0	0.9190	7.0	26.9
Perilla, crudo	1.36	0.9297	8.1	27.2
Nabo	0.34	0.9114	7.0	28.8
Sardina	0.57	0.9384	7.7	27.3
Soya	3.50	0.9228	8.3	27.5
Esperma	0.80	0.8829	7.7	26.3
Girasol	2.76	0.9207	7.5	27.6
Ballena, refinado	0.73	0.9227	7.5	27.5

* Basada en datos de 100 y 210°F de A. R. Rescorla y F. L. Carnahan, *Ind. Eng. Chem.*, 28, 1 212-1 213 (1936).

VISCOSIDADES DE ACIDOS GRASOS COMERCIALES*
250 a 400°F

	Grav. Esp. a 300°F	X	Y
Láurico	0.792	10.1	23.1
Oléico	0.799	10.0	25.2
Palmítico	0.786	9.2	25.9
Estéarico	0.789	10.5	25.5

* De datos de D. Q. Kern y W. Van Nostrand, *Ind. Eng. Chem.*, 41, 2 209 (1949).

VISCOSIDADES DE LIQUIDOS*
Para usarse como Coordenadas con la Fig. 14

Líquido	X	Y	Líquido	X	Y
Acetaldehído	15.2	4.8	Cloruro Estánico	13.5	12.8
Acetato de Amilo	11.8	12.5	Cresol, meta	2.5	20.8
Acetato de Butilo	12.3	11.0	Dibromoetano	12.7	15.8
Acetato de Etilo	13.7	9.1	Dicloroetano	13.2	12.2
Acetato de Metilo	14.2	8.2	Diclorometano	14.6	8.9
Acetato de Vinilo	14.0	8.8	Difenilo	12.0	18.3
Acetona 100%	14.5	7.2	Eter Etilico	14.5	5.3
Acetona 35%	7.9	15.0	Etilbenceno	13.2	11.5
Agua	10.2	13.0	Etilenglicol	6.0	23.6
Acido Acético 100%	12.1	14.2	Fenol	6.9	20.8
Acido Acético 70%	9.5	17.0	Formiato de Etilo	14.2	8.4
Acido Butírico	12.1	15.3	Freon 11	14.4	9.0
Acido Clorosulfónico	11.2	18.1	Freon 12	16.8	5.6
Acido Fórmico	10.7	15.8	Freon 21	15.7	7.5
Acido Isobutírico	12.2	14.4	Freon 22	17.2	4.7
Acido Nítrico 95%	12.8	13.8	Freon 113	12.5	11.4
Acido Nítrico 60%	10.8	17.0	Freon 114	14.6	8.3
Acido Propiónico	12.8	13.8	Glicerina 100%	2.0	30.0
Acido Sulfúrico 110%	7.2	27.4	Glicerina 50%	6.9	19.6
Acido Sulfúrico 98%	7.0	24.8	Heptano	14.1	8.4
Acido Sulfúrico 60%	10.2	21.3	Hexano	14.7	7.0
Alcohol Alílico	10.2	14.3	Hidróxido de Sodio 50%	3.2	25.8
Alcohol Amílico	7.5	18.4	Yoduro de Etilo	14.7	10.3
Alcohol Butílico	8.6	17.2	Yoduro de Propilo	14.1	11.6
Alcohol Etilico 100%	10.5	13.8	Isobutano	14.5	3.7
Alcohol Etilico 95%	9.8	14.3	Mercurio	18.4	16.4
Alcohol Etilico 40%	6.5	16.6	Metanol 100%	12.4	10.5
Acido Clorhídrico 31.5%	13.0	16.6	Metanol 90%	12.3	11.8
Alcohol Isobutílico	7.1	18.0	Metanol 40%	7.8	15.5
Alcohol Isopropílico	8.2	16.0	Metiletiletona	13.9	8.6
Alcohol Octílico	6.2	21.1	Naftaleno	7.9	18.1
Alcohol Propílico	9.1	16.5	Nitrobenceno	10.6	16.2
Amoniaco 100%	12.6	2.0	Nitrotolueno	11.0	17.0
Amoniaco 26%	10.1	13.9	Octano	13.7	10.0
Anhidrido Acético	12.7	12.8	Oxalato de Dietilo	11.0	16.4
Anilina	8.1	18.7	Oxalato de Dimetilo	12.3	15.8
Anisol	12.3	13.5	Oxalato de Dipropilo	10.3	17.7
Benceno	12.5	10.9	Pentacloroetano	10.9	17.3
Bióxido de Azufre	15.2	7.1	Pentano	14.9	5.2
Bióxido de Carbono	11.6	0.3	Propano	15.3	1.0
Bisulfuro de Carbono	16.1	7.5	Salmuera CaCl ₂ 25%	6.6	15.9
Bromo	14.2	13.2	Salmuera NaCl 25%	10.2	16.6
Bromotolueno	20.0	15.9	Sodio	16.4	13.9
Bromuro de Etilo	14.5	8.1	Tetracloroetano	11.9	15.7
Bromuro de Propilo	14.5	9.6	Tetracloroetileno	14.2	12.7
n-Butano	15.3	3.3	Tetracloruro de Carbono	12.7	13.1
Ciclohexanol	2.9	24.3	Tetracloruro de Titanio	14.4	12.3
Clorobenceno	12.3	12.4	Tribromuro de Fósforo	13.8	16.7
Cloroformo	14.4	10.2	Tricloruro de Arsénico	13.9	14.5
Clorotolueno, orto	13.0	13.3	Tricloruro de Fósforo	16.2	10.9
Clorotolueno, meta	13.3	12.5	Tricloroetileno	14.8	10.5
Clorotolueno, para	13.3	12.5	Tolueno	13.7	10.4
Cloruro de Etilo	14.8	6.0	Turpentina	11.5	14.9
Cloruro de Metilo	15.0	3.8	Xileno, orto	13.5	12.1
Cloruro de Propilo	14.4	7.5	Xileno, meta	13.9	12.1
Cloruro de Sulfurilo	15.2	12.4	Xileno, para	13.9	10.9

* De Perry, J. H., "Chemical Engineers' Handbook 3d. ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.

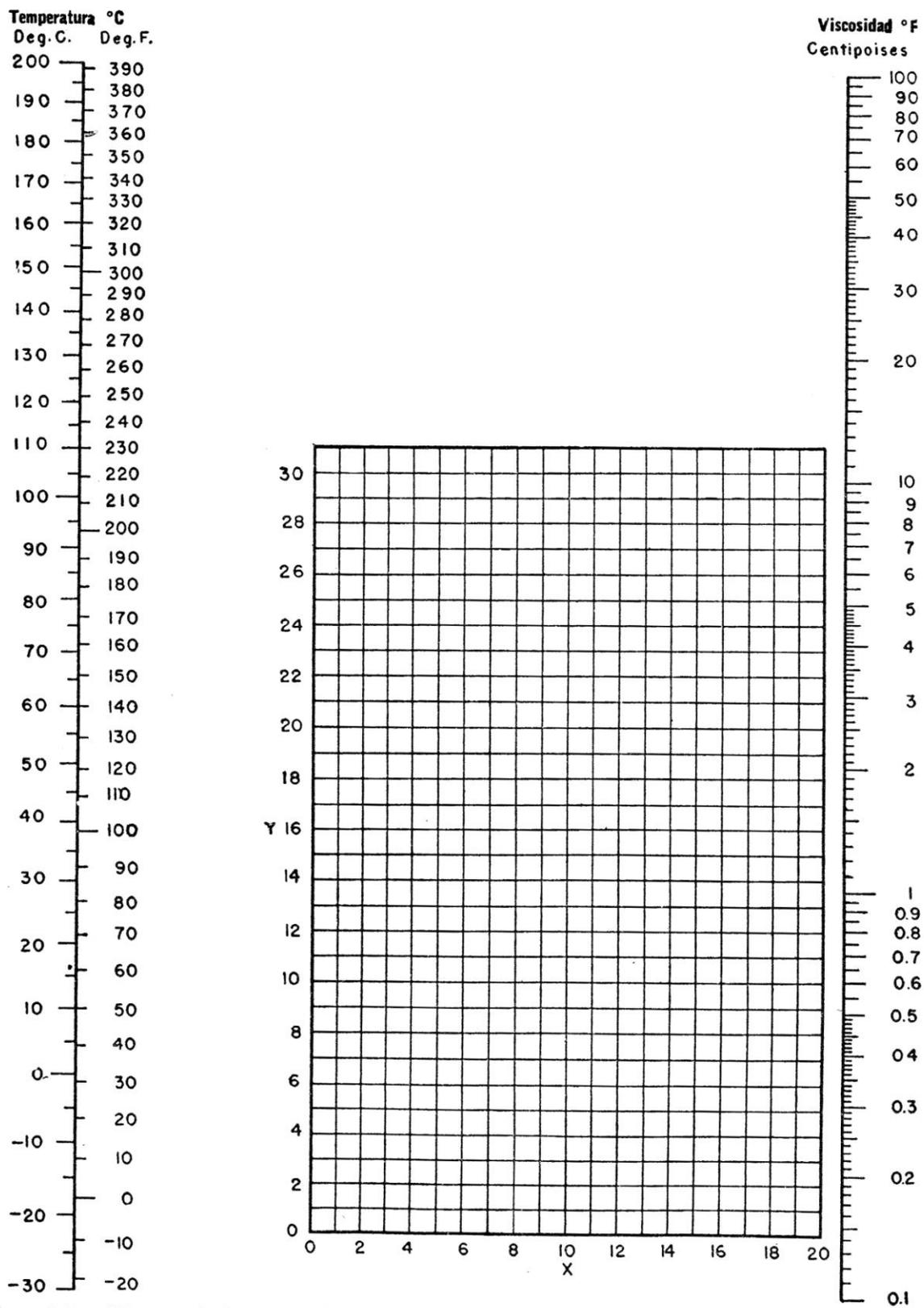


FIG. 14. Viscosidades de líquidos. (Perry, "Chemical Engineers' Handbook", 3a. ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950)

VISCOSIDADES DE GASES

Gas	X	Y
Acetato de Etilo	8.5	13.2
Acetona	8.9	13.0
Acetileno	9.8	14.9
Acido Acético	7.7	14.3
Agua	8.0	16.0
Aire	11.0	20.0
Alcohol Etilico	9.2	14.2
Alcohol Metilico	8.5	15.6
Alcohol Propilico	8.4	13.4
Amoniac	8.4	16.0
Argón	10.5	22.4
Benceno	8.5	13.2
Bromo	8.9	19.2
Buteno	9.2	13.7
Butileno	8.9	13.0
Bióxido de Azufre	9.6	17.0
Bióxido de Carbono	9.5	18.7
Bisulfuro de Carbono	8.0	16.0
Bromuro de Hidrógeno	8.8	20.9
Cianógeno	9.2	15.2
Ciclohexano	9.2	12.0
Cianuro de Hidrógeno	9.8	14.9
Cloro	9.0	18.4
Cloroformo	8.9	15.7
Cloruro de Etilo	8.5	15.6
Cloruro de Hidrógeno	8.8	18.7
Cloruro de Nitrosilo	8.0	17.6
Etano	9.1	14.5
Eter Etilico	8.9	13.0
Etileno	9.5	15.1
Flúor	7.3	23.8
Freon 11	10.6	15.1
Freon 12	11.1	16.0
Freon 21	10.8	15.3
Freon 22	10.1	17.0
Freon 113	11.3	14.0
Helio	10.9	20.5
Hexano	8.6	11.8
Hidrógeno	11.2	12.4
3H ₂ + 1N ₂	11.2	17.2
Yodo	9.0	18.4
Yoduro de Hidrógeno	9.0	21.3
Mercurio	5.3	22.9
Metano	9.9	15.5
Monóxido de Carbono	11.0	20.0
Nitrógeno	10.6	20.0
Oxido Nítrico	10.9	20.5
Oxido Nitroso	8.8	19.0
Oxígeno	11.0	21.3
Pentano	7.0	12.8
Propano	9.7	12.9
Propileno	9.0	13.8
Sulfuro de Hidrógeno	8.6	18.0
Tolueno	8.6	12.4
2, 3, 3-Trimetilbutano	9.5	10.5
Xenón	9.3	23.0

* De Perry, J. H., "Chemical Engineers' Handbook" 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York 1950.

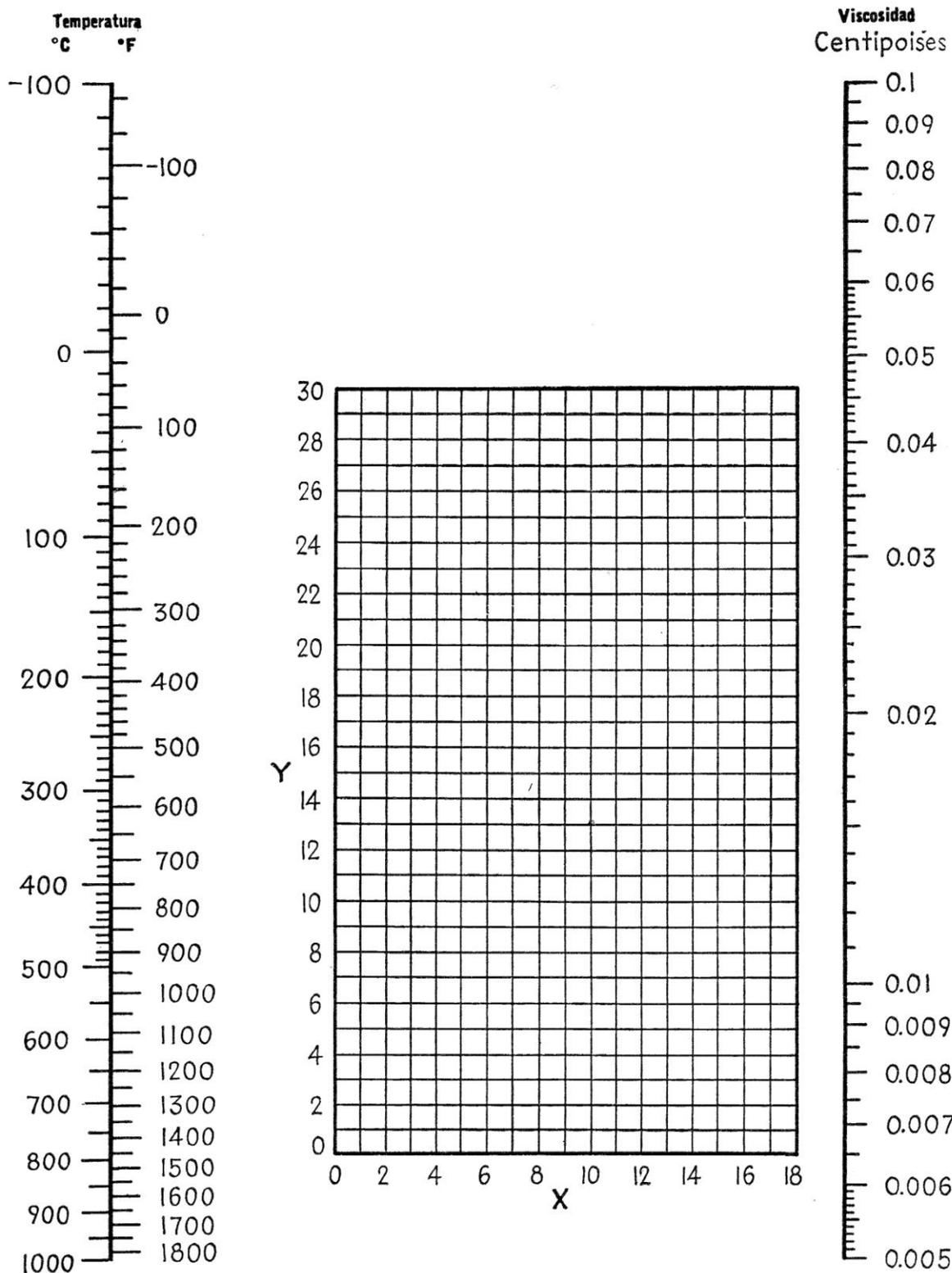
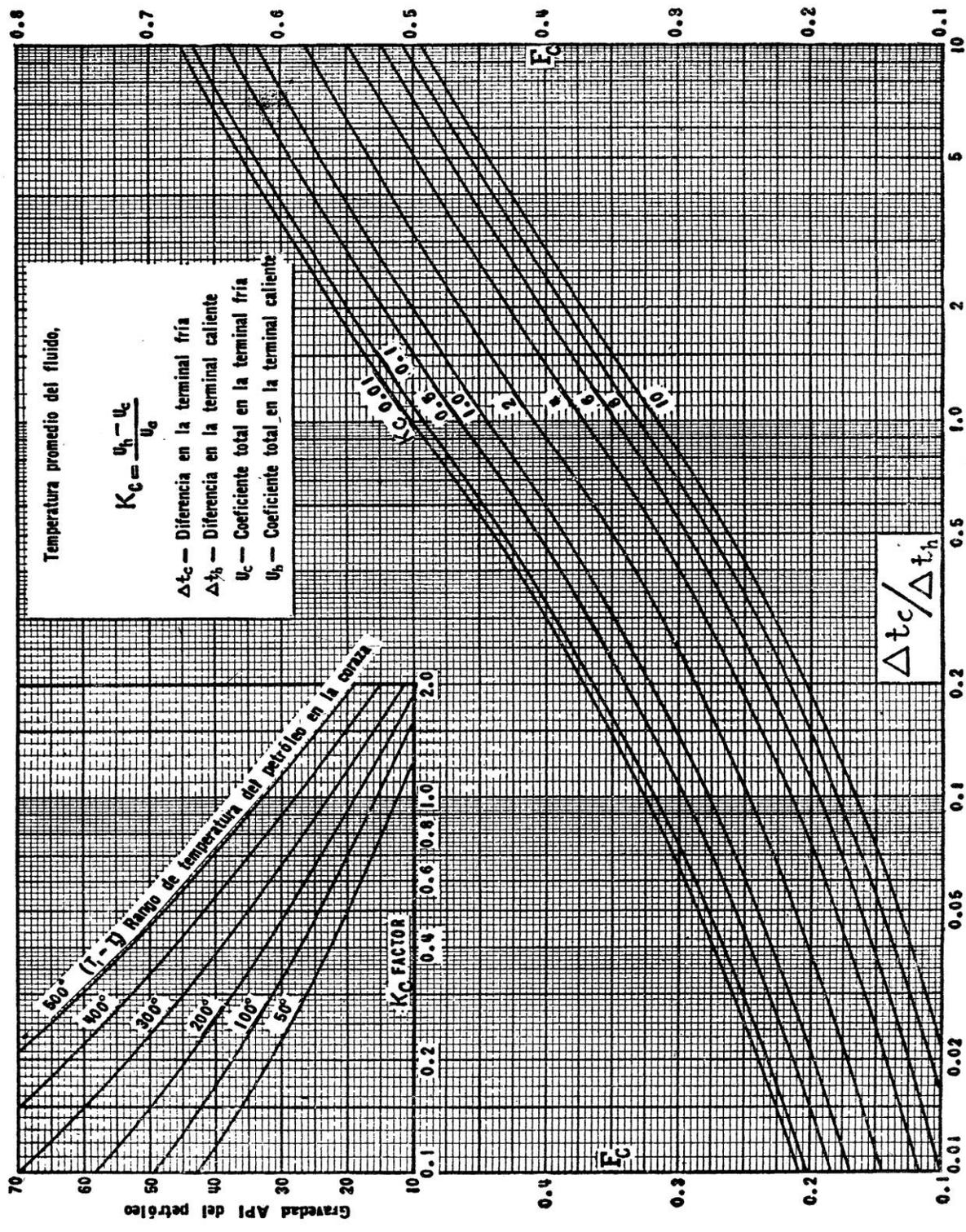
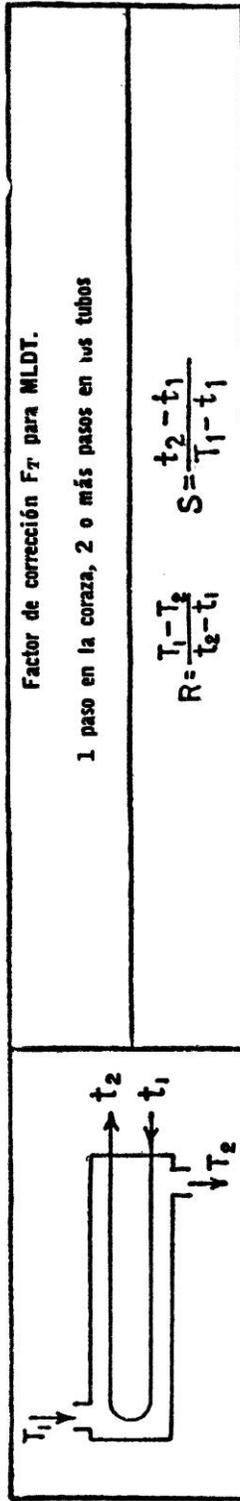
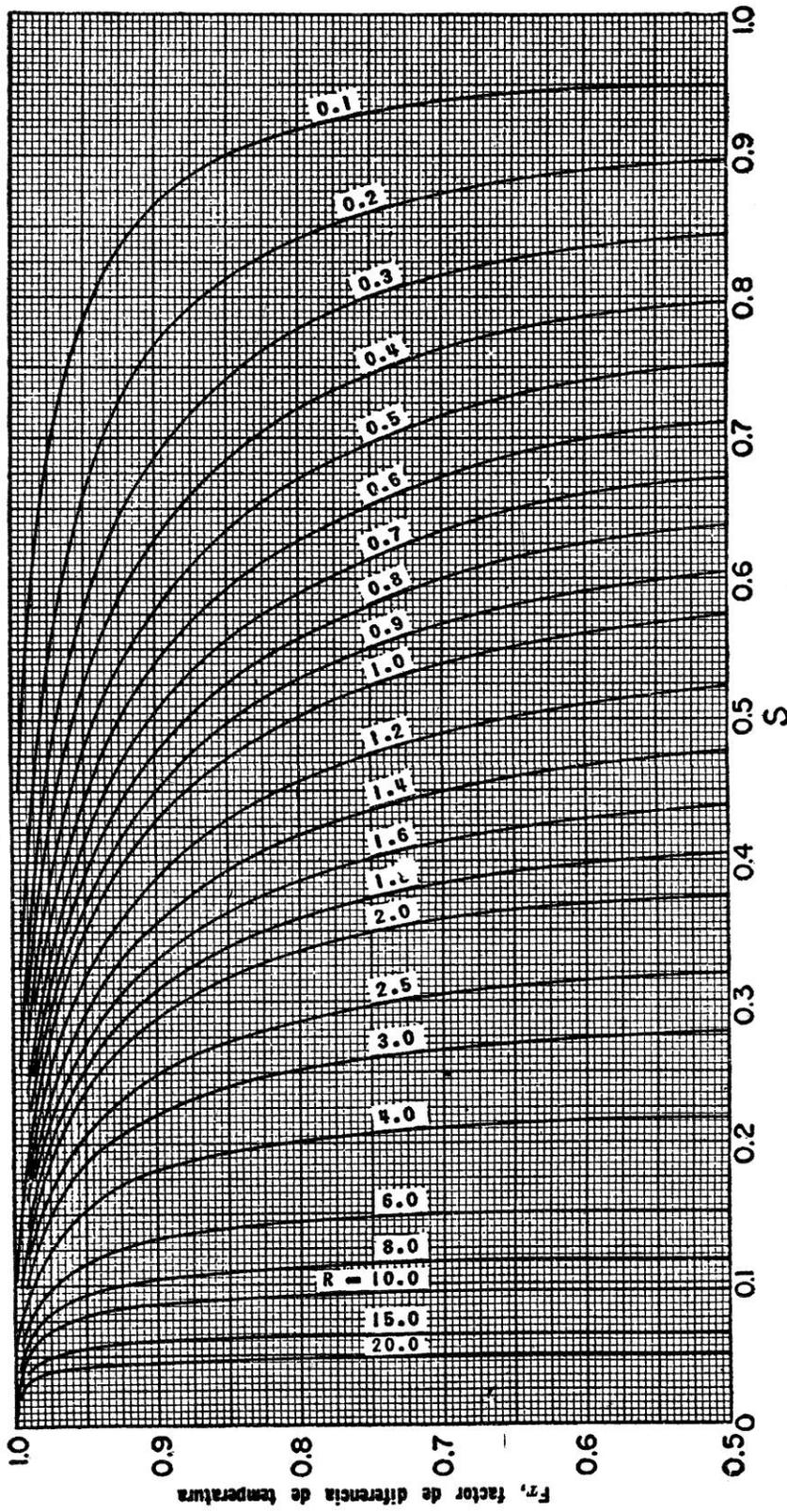


FIG. 15. Viscosidades de Gases. (Perry, "Chemical Engineers' Handbook", 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950)



17. Factor F de temperatura calórica. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York, 1949)

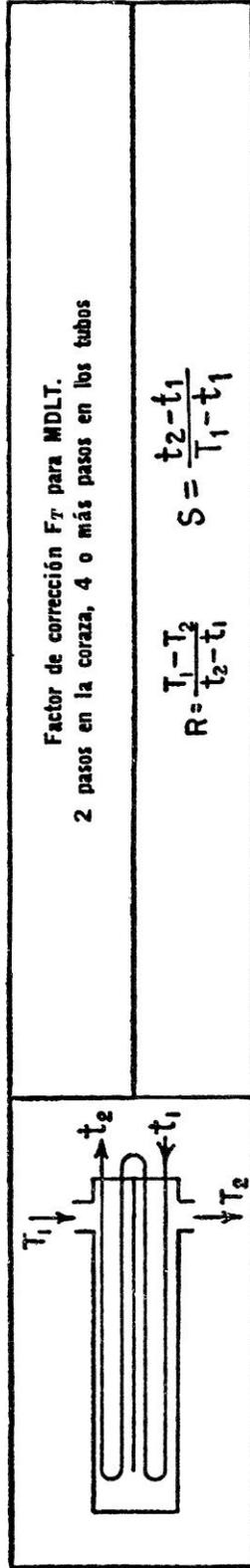
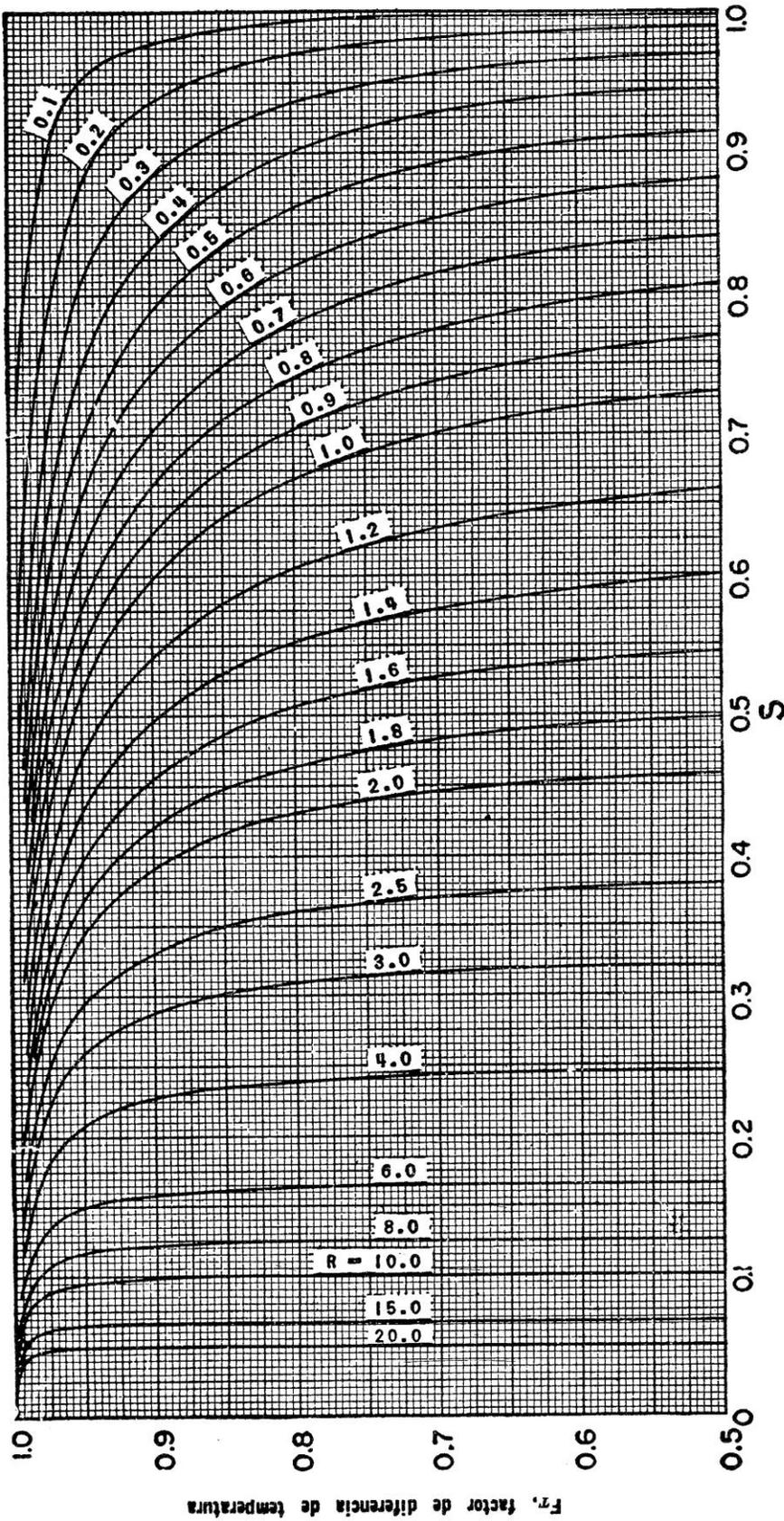


Factor de corrección F_T para MLDT.

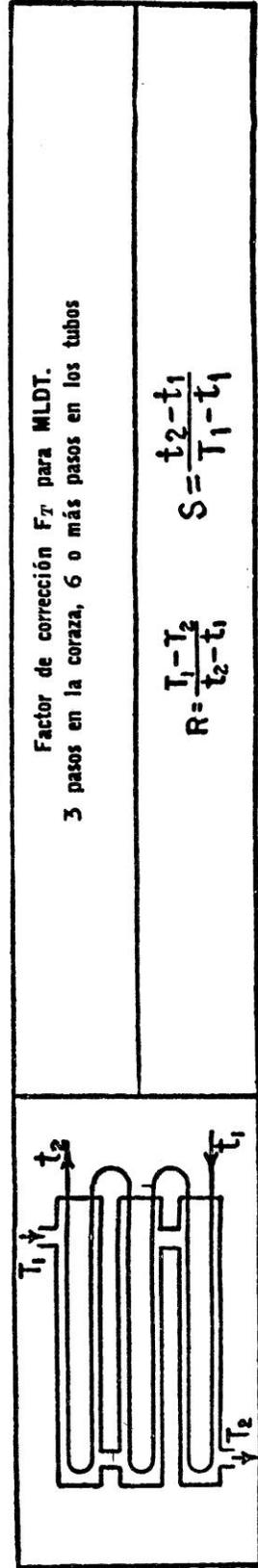
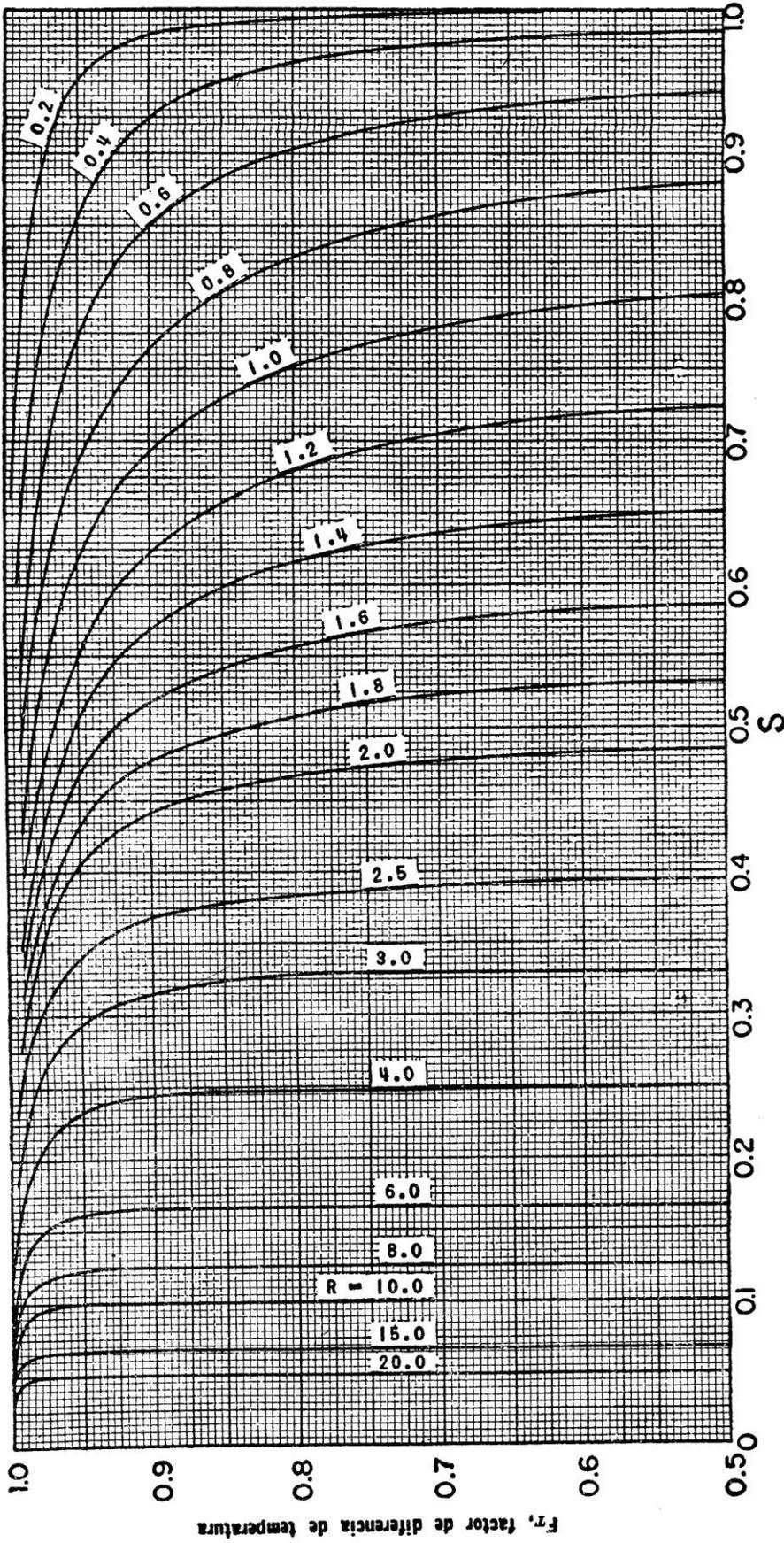
1 paso en la coraza, 2 o más pasos en los tubos.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

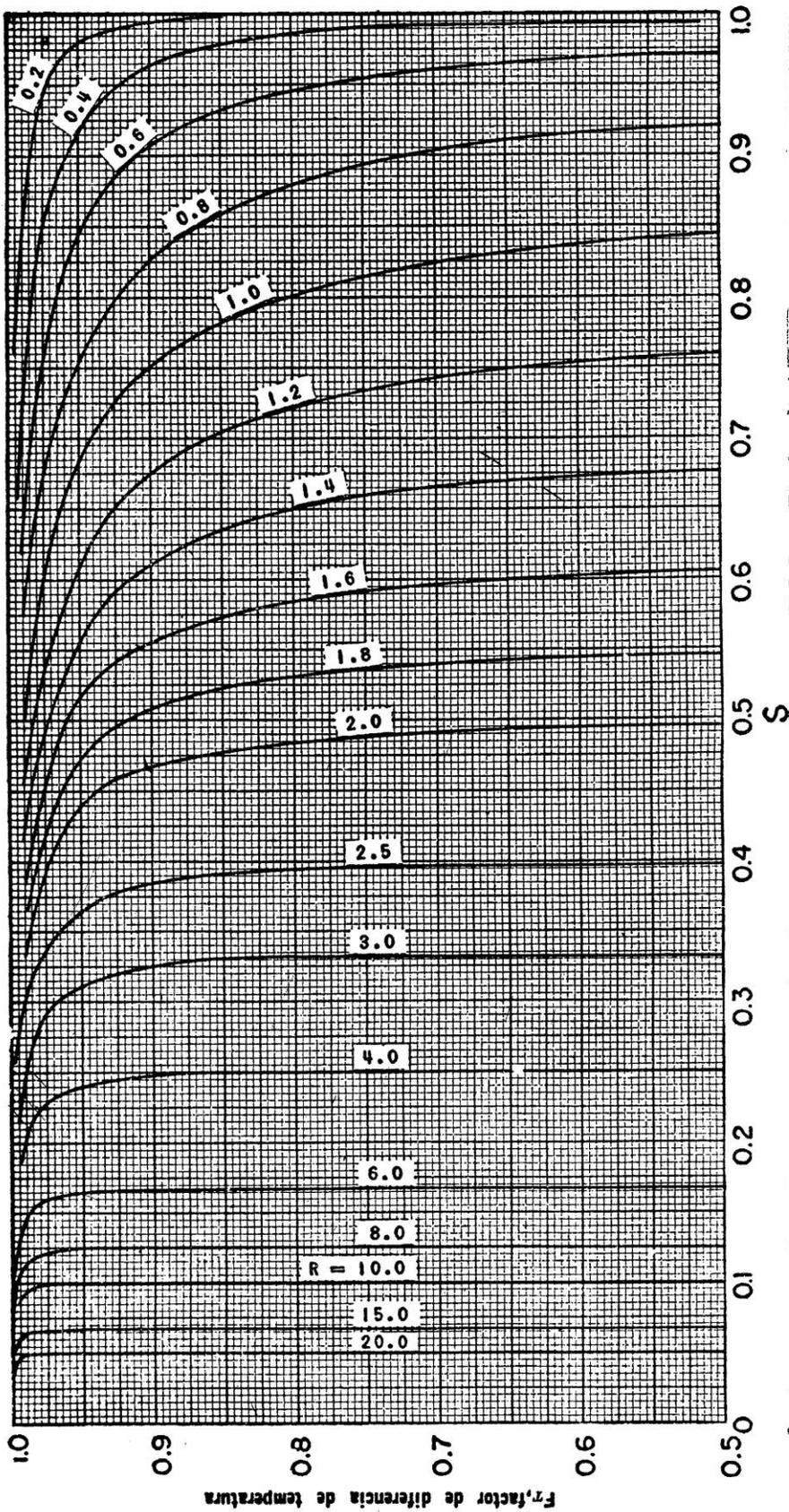
g. 18. Factores de corrección MLDT para intercambiadores 1-2. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York, 1949)



19. Factores de corrección MDLT para intercambiadores 2-4. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association 2a. ed., New York, 1949)



s. 20. Factores de corrección MLDT para intercambiadores 3-6. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York 1949)



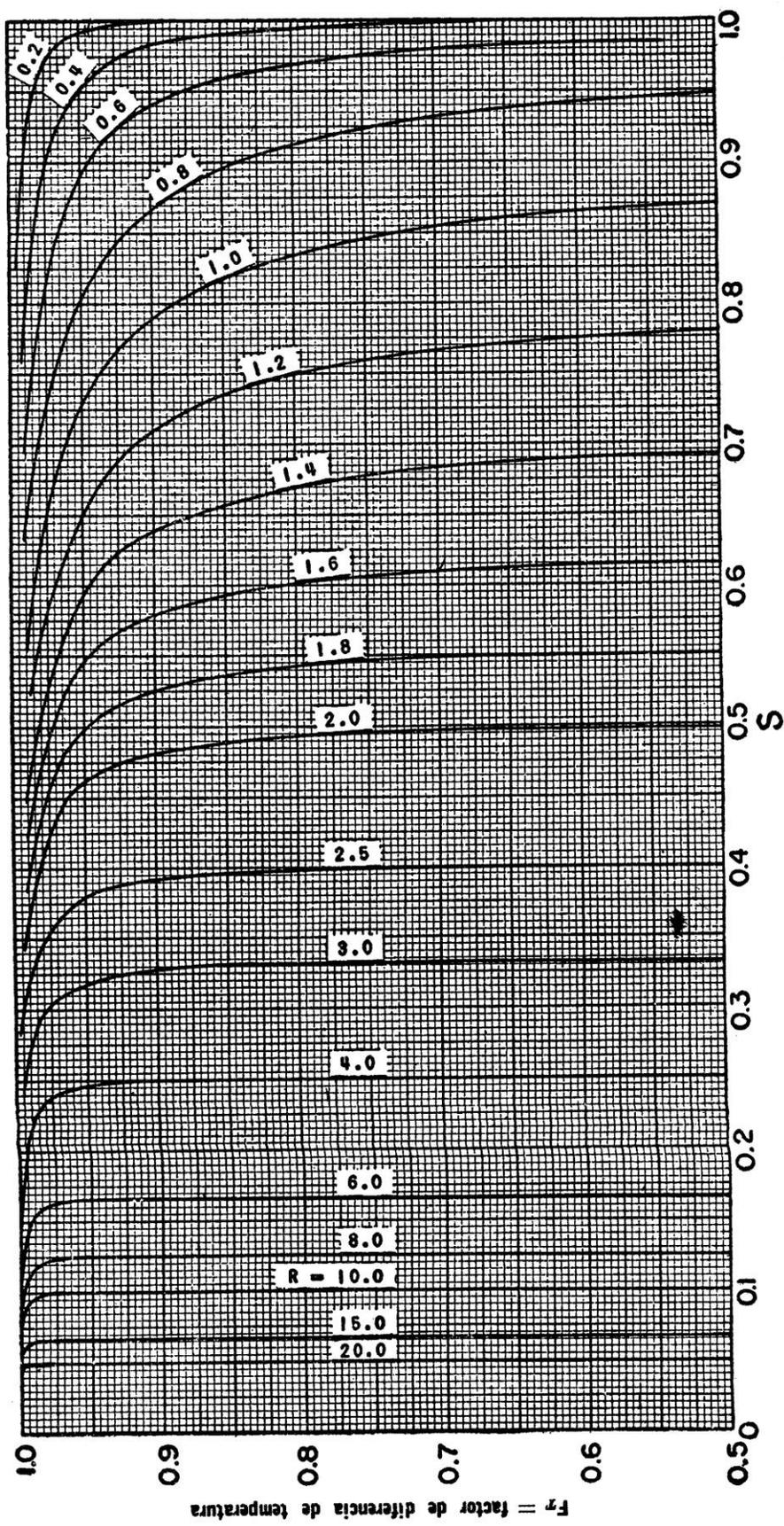
4
Corazas

Factor de corrección F_r para MLDT.
4 pasos en la coraza, 8 o más pasos en los tubos

Coraza

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

21. Factores de corrección MLDT para intercambiadores 4-8. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York, 1949)



Factor de corrección F_T para MLDT.
5 pasos en la coraza, 10 o más pasos en los tubos

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

Fig. 22. Factores de corrección MLDT para intercambiadores 5-10. (Standards of Tubular Exchanger Manufactu Association, 2a. ed., New York, 1949)

PARA DISEÑO. LOS VALORES INCLUYEN UN FACTOR DE OBSTRUCCION TOTAL DE 0.003 Y CAIDA DE PRESION PERMISIBLE DE 5 A 10 LB/PLG² EN LA CORRIENTE QUE CONTROLE

Enfriadores

Fluido caliente	Fluido frío	U_D total
Agua	Agua	250-500 ⁴
Metanol	Agua	250-500 ⁴
Amoniaco	Agua	250-500 ⁴
Soluciones acuosas	Agua	250-500 ⁴
Sustancias orgánicas ligeras ¹	Agua	75-150
Sustancias orgánicas medias ²	Agua	50-125
Sustancias orgánicas pesadas ³	Agua	5- 75
Gases	Agua	2- 50
Agua	Salmuera	100-200
Sustancias orgánicas ligeras	Salmuera	40-100

Calentadores

Fluido caliente	Fluido frío	U_D total
Vapor de agua	Agua	200-700 ⁴
Vapor de agua	Metanol	200-700 ⁴
Vapor de agua	Amoniaco	200-700 ⁴
Vapor de agua	Soluciones acuosas:	
Vapor de agua	menos de 2.0 cp	200-700
Vapor de agua	Más de 2.0 cp	100-500 ⁴
Vapor de agua	Sustancias orgánicas ligeras	50-100
Vapor de agua	Sustancias orgánicas medias	100-200
Vapor de agua	Sustancias orgánicas pesadas	6-60
Vapor de agua	Gases	5-50 ⁶

Intercambiadores

Fluido caliente	Fluido frío	U_D total
Agua	Agua	250-500 ⁴
Soluciones acuosas	Soluciones acuosas	250-500 ⁴
Sustancias orgánicas ligeras	Sustancias orgánicas ligeras	40-75
Sustancias orgánicas medias	Sustancias orgánicas medias	20-60
Sustancias orgánicas pesadas	Sustancias orgánicas pesadas	10-40
Sustancias orgánicas pesadas	Sustancias orgánicas ligeras	30-60
Sustancias orgánicas ligeras	Sustancias orgánicas pesadas	10-40

¹ Las sustancias orgánicas ligeras son fluidos con viscosidades menores de 0.5 centipoises e incluyen benceno, tolueno, acetona, etanol, metil-etil-cetona, gasolina, kerosén y nafta.

² Las sustancias orgánicas medias tienen viscosidades de 0.5 a 1.0 centipois e incluyen kerosén, strawoil, gasoil caliente, aceite de absorbedor caliente y algunos crudos.

³ Sustancias orgánicas pesadas tienen viscosidades mayores de 1.0 centipois e incluyen gasoil frío, aceites lubricantes, petróleo combustible, petróleo crudo reducido, breas y asfaltos.

⁴ Factor de obstrucción 0.001.

⁵ Caída de presión de 20 a 30 lb/plg².

⁶ Estas tasas están influenciadas grandemente por la presión de operación.

TABLA 9. DISPOSICION DE LOS ESPEJOS DE TUBOS (CUENTA DE TUBOS). ARREGLO EN CUADRO

Tubos de $\frac{3}{4}$ " DE, arreglo en cuadro de 1 plg						Tubos de 1" DE, arreglo en cuadro de $\frac{1}{4}$ plg					
Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P	Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	32	26	20	20		8	21	16	14		
10	52	52	40	36		10	32	32	26	24	
12	81	76	68	68	60	12	48	45	40	38	36
$13\frac{1}{4}$	97	90	82	76	70	$13\frac{1}{4}$	61	56	52	48	44
$15\frac{1}{4}$	137	124	116	108	108	$15\frac{1}{4}$	81	76	68	68	64
$17\frac{1}{4}$	177	166	158	150	142	$17\frac{1}{4}$	112	112	96	90	82
$19\frac{1}{4}$	224	220	204	192	188	$19\frac{1}{4}$	138	132	128	122	116
$21\frac{1}{4}$	277	270	246	240	234	$21\frac{1}{4}$	177	166	158	152	148
$23\frac{1}{4}$	341	324	308	302	292	$23\frac{1}{4}$	213	208	192	184	184
25	413	394	370	356	346	25	260	252	238	226	222
27	481	460	432	420	408	27	300	288	278	268	260
29	553	526	480	468	456	29	341	326	300	294	286
31	657	640	600	580	560	31	406	398	380	368	358
33	749	718	688	676	648	33	465	460	432	420	414
35	845	824	780	766	748	35	522	518	488	484	472
37	934	914	886	866	838	37	596	574	562	544	532
39	1049	1024	982	968	948	39	665	644	624	612	600

Tubos de $1\frac{1}{4}$ " DE, arreglo en cuadro de $\frac{1}{16}$ plg **Tubos de $1\frac{1}{2}$ " DE, arreglo en cuadro de $\frac{1}{8}$ plg**

10	16	12	10			12	16	16	12	12	
12	30	24	22	16	16	12	16	16	12	12	
$13\frac{1}{4}$	32	30	30	22	22	$13\frac{1}{4}$	22	22	16	16	
$15\frac{1}{4}$	44	40	37	35	31	$15\frac{1}{4}$	29	29	25	24	22
$17\frac{1}{4}$	56	53	51	48	44	$17\frac{1}{4}$	39	39	34	32	29
$19\frac{1}{4}$	78	73	71	64	56	$19\frac{1}{4}$	50	48	45	43	39
$21\frac{1}{4}$	96	90	86	82	78	$21\frac{1}{4}$	62	60	57	54	50
$23\frac{1}{4}$	127	112	106	102	96	$23\frac{1}{4}$	78	74	70	66	62
25	140	135	127	123	115	25	94	90	86	84	78
27	166	160	151	146	140	27	112	108	102	98	94
29	193	188	178	174	166	29	131	127	120	116	112
31	226	220	209	202	193	31	151	146	141	138	131
33	258	252	244	238	226	33	176	170	164	160	151
35	293	287	275	268	258	35	202	196	188	182	176
37	334	322	311	304	293	37	224	220	217	210	202
39	370	362	348	342	336	39	252	246	237	230	224

TABLA 9. DISPOSICION DE LOS ESPEJOS DE TUBOS (CUENTA DE TUBOS. (Continúa). ARREGLO TRIANGULAR

Tubos de 3/4" DE, arreglo triangular de 15/16 plg						Tubos de 3/4" DE, arreglo triangular de 1 plg					
Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P	Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	36	32	26	24	18	8	37	30	24	24	
10	62	56	47	42	36	10	61	52	40	36	
12	109	98	86	82	78	12	92	82	76	74	70
13 1/4	127	114	96	90	86	13 1/4	109	106	86	82	74
15 1/4	170	160	140	136	128	15 1/4	151	138	122	118	110
17 1/4	239	224	194	188	178	17 1/4	203	196	178	172	166
19 1/4	301	282	252	244	234	19 1/4	262	250	226	216	210
21 1/4	361	342	314	306	290	21 1/4	316	302	278	272	260
23 1/4	442	420	386	378	364	23 1/4	384	376	352	342	328
25	532	506	468	446	434	25	470	452	422	394	382
27	637	602	550	536	524	27	559	534	488	474	464
29	721	692	640	620	594	29	630	604	556	538	508
31	847	822	766	722	720	31	745	728	678	666	640
33	974	938	878	852	826	33	856	830	774	760	732
35	1102	1068	1004	988	958	35	970	938	882	864	848
37	1240	1200	1144	1104	1072	37	1074	1044	1012	986	870
39	1377	1330	1258	1248	1212	39	1206	1176	1128	1100	1078
Tubos de 1" DE, arreglo triangular de 1 1/4 plg						Tubos de 1 1/4" DE, arreglo triangular de 1 9/16" plg					
8	21	16	16	14		10	20	18	14		
10	32	32	26	24		12	32	30	26	22	20
12	55	52	48	46	44	13 1/4	38	36	32	28	26
13 1/4	68	66	58	54	50	15 1/4	54	51	45	42	38
15 1/4	91	86	80	74	72	17 1/4	69	66	62	58	54
17 1/4	131	118	106	104	94	19 1/4	95	91	86	78	69
19 1/4	163	152	140	136	128	21 1/4	117	112	105	101	95
21 1/4	199	188	170	164	160	23 1/4	140	136	130	123	117
23 1/4	241	232	212	212	202	25	170	164	155	150	140
25	294	282	256	252	242	27	202	196	185	179	170
27	349	334	302	296	286	29	235	228	217	212	202
29	397	376	338	334	316	31	275	270	255	245	235
31	472	454	430	424	400	33	315	305	297	288	275
33	538	522	486	470	454	35	357	348	335	327	315
35	608	592	562	546	532	37	407	390	380	374	357
37	674	664	632	614	598	39	449	436	425	419	407
39	766	736	700	688	672						
Tubos de 1 1/2" DE, arreglo triangular de 1 7/8 plg											
12	18	14	14	12	12						
13 1/4	27	22	18	16	14						
15 1/4	36	34	32	30	27						
17 1/4	48	44	42	38	36						
19 1/4	61	58	55	51	48						
21 1/4	76	72	70	66	61						
23 1/4	95	91	86	80	76						
25	115	110	105	98	95						
27	136	131	125	118	115						
29	160	154	147	141	136						
31	184	177	172	165	160						
33	215	206	200	190	184						
35	246	238	230	220	215						
37	275	268	260	252	246						
39	307	299	290	284	275						

**TABLA 10. DATOS DE TUBOS PARA CONDENSADORES
E INTERCAMBIADORES DE CALOR**

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg ²	Superficie por pie lin. pies ²		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
1/2	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0969	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
3/4	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1529	0.647
	15	0.072	0.606	0.289		0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401
1	8	0.165	0.670	0.355	0.2618	0.1754	1.61
	9	0.148	0.704	0.389		0.1843	1.47
	10	0.134	0.732	0.421		0.1916	1.36
	11	0.120	0.760	0.455		0.1990	1.23
	12	0.109	0.782	0.479		0.2048	1.14
	13	0.095	0.810	0.515		0.2121	1.00
	14	0.083	0.834	0.546		0.2183	0.890
	15	0.072	0.856	0.576		0.2241	0.781
	16	0.065	0.870	0.594		0.2277	0.710
	17	0.058	0.884	0.613		0.2314	0.639
18	0.049	0.902	0.639	0.2361	0.545		
1 1/4	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714		0.2498	1.91
	10	0.134	0.982	0.757		0.2572	1.75
	11	0.120	1.01	0.800		0.2644	1.58
	12	0.109	1.03	0.836		0.2701	1.45
	13	0.095	1.06	0.884		0.2775	1.28
	14	0.083	1.08	0.923		0.2839	1.13
	15	0.072	1.11	0.960		0.2896	0.991
	16	0.065	1.12	0.985		0.2932	0.900
	17	0.058	1.13	1.01		0.2969	0.808
18	0.049	1.15	1.04	0.3015	0.688		
1 1/2	8	0.165	1.17	1.075	0.3925	0.3063	2.57
	9	0.148	1.20	1.14		0.3152	2.34
	10	0.134	1.23	1.19		0.3225	2.14
	11	0.120	1.26	1.25		0.3299	1.98
	12	0.109	1.28	1.29		0.3356	1.77
	13	0.095	1.31	1.35		0.3430	1.56
	14	0.083	1.33	1.40		0.3492	1.37
	15	0.072	1.36	1.44		0.3555	1.20
	16	0.065	1.37	1.47		0.3587	1.09
	17	0.058	1.38	1.50		0.3623	0.978
18	0.049	1.40	1.54	0.3670	0.831		

TABLA 11. DIMENSIONES DE TUBERIA DE ACERO (IPS)

Tamaño nominal del tubo, IPS plg	DE, plg	Cédula No.	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg ²	Superficie por pie lineal, pies ² /pie		Peso por pie lineal, lb de acero
					Exterior	Interior	
1/8	0.405	40*	0.269	0.058	0.106	0.070	0.25
		80†	0.215	0.036		0.056	0.32
1/4	0.540	40*	0.364	0.104	0.141	0.095	0.43
		80†	0.302	0.072		0.079	0.54
3/8	0.675	40*	0.493	0.192	0.177	0.129	0.57
		80†	0.423	0.141		0.111	0.74
1/2	0.840	40*	0.622	0.304	0.220	0.163	0.85
		80†	0.546	0.235		0.143	1.09
3/4	1.05	40*	0.824	0.534	0.275	0.216	1.13
		80†	0.742	0.432		0.194	1.48
1	1.32	40*	1.049	0.864	0.344	0.274	1.68
		80†	0.957	0.718		0.250	2.17
1 1/4	1.66	40*	1.380	1.50	0.435	0.362	2.28
		80†	1.278	1.28		0.335	3.00
1 1/2	1.90	40*	1.610	2.04	0.498	0.422	2.72
		80†	1.500	1.76		0.393	3.64
2	2.38	40*	2.067	3.35	0.622	0.542	3.66
		80†	1.939	2.95		0.508	5.03
2 1/2	2.88	40*	2.469	4.79	0.753	0.647	5.80
		80†	2.323	4.23		0.609	7.67
3	3.50	40*	3.068	7.38	0.917	0.804	7.58
		80†	2.900	6.61		0.760	10.3
4	4.50	40*	4.026	12.7	1.178	1.055	10.8
		80†	3.826	11.5		1.002	15.0
6	6.625	40*	6.065	28.9	1.734	1.590	19.0
		80†	5.761	26.1		1.510	28.6
8	8.625	40*	7.981	50.0	2.258	2.090	28.6
		80†	7.625	45.7		2.000	43.4
10	10.75	40*	10.02	78.8	2.814	2.62	40.5
		60	9.75	74.6		2.55	54.8
12	12.75	30	12.09	115	3.338	3.17	43.8
14	14.0	30	13.25	138	3.665	3.47	54.6
16	16.0	30	15.25	183	4.189	4.00	62.6
18	18.0	20‡	17.25	234	4.712	4.52	72.7
20	20.0	20	19.25	291	5.236	5.05	78.6
22	22.0	20‡	21.25	355	5.747	5.56	84.0
24	24.0	20	23.25	425	6.283	6.09	94.7

* Comúnmente conocido como estándar.

† Comúnmente conocido como extragrueso.

‡ Aproximadamente.

TABLA 12. FACTORES DE OBSTRUCCION *

Temperatura del medio calefactor	Hasta 240°F		240-400°F †	
Temperatura del agua	125°F o menos		Más de 125°F	
Agua	Velocidad del agua, pps		Velocidad del agua, pps	
	3 pies o menos	Más de 3 pies	3 pies o menos	Más de 3 pies
Agua de mar	0.0005	0.0005	0.001	0.001
Salmuera natural	0.002	0.001	0.003	0.002
Torre de enfriamiento y tanque con rocío artificial:				
Agua de compensación tratada	0.001	0.001	0.002	0.002
Sin tratar	0.003	0.003	0.005	0.004
Agua de la ciudad o de pozo (como Grandes Lagos)	0.001	0.001	0.002	0.002
Grandes Lagos	0.001	0.001	0.002	0.002
Agua de río:				
Mínimo	0.002	0.001	0.003	0.022
Mississippi	0.003	0.002	0.004	0.003
Delaware, Schykill	0.003	0.002	0.004	0.003
East River y New York Bay	0.003	0.002	0.004	0.003
Canal sanitario de Chicago	0.008	0.006	0.010	0.008
Lodosa o turbia	0.003	0.002	0.004	0.003
Dura (más de 15 granos/gal)	0.003	0.003	0.005	0.005
Enfriamiento de máquinas	0.001	0.001	0.001	0.001
Destilada	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Alimentación tratada para calderas	0.001	0.0005	0.001	0.001
Purga de calderas	0.002	0.002	0.002	0.002

† Las cifras de las últimas dos columnas se basan en una temperatura del medio calefactor de 240 a 400°F. Si la temperatura de este medio es mayor de 400°F, y si se sabe que el medio enfriador forma depósitos, estas cifras deben modificarse convenientemente.

FRACCIONES DE PETROLEO

Aceites (industriales):		Líquidos (industriales):	
Combustolio	0.005	Orgánicos	0.001
Aceite de recirculación limpio	0.001	Líquidos refrigerantes, calefacción, enfriadores, o evaporantes	0.001
Aceites para maquinarias y transformadores	0.001	Salmueras (enfriamiento)	0.001
Aceite para quenching ...	0.004	Unidades de destilación atmosférica:	
Aceites vegetales	0.003	Fondos residuales, menos de 25°API	0.005
Gases, vapores (industriales):		Fondos residuales, de 25° API o más	0.002
Gas de hornos de coque, gas manufacturado	0.01		

TABLA 12. FACTORES DE OBSTRUCCION * (Continúa)

Gases de escape de máquinas Diesel.....	0.01	Unidades de destilación atmosférica:	
Vapores orgánicos	0.0005	Vapores superiores sin tratar	0.0013
Vapor (sin aceite)	0.0	Vapores superiores tratados	0.003
Vapores de alcohol	0.0	Cortes intermedios	0.0013
Vapor, de escape (con aceite)	0.001	Unidades de destilación al vacío:	
Vapores refrigerantes (condensando de compresores recíprocos)	0.002	Vapores superiores a aceite:	
Aire	0.002	De la torre de burbujeo (condensador parcial)	0.001
Vapores superiores en condensadores enfriados por agua:		Del tanque flash (sin reflujo apreciable) ..	0.003
De la torre de burbujeo (condensador final) ...	0.001	Aceite delgado	0.002
Del tanque flash	0.04	Vapores superiores	0.001
Cortes intermedios:		Gasolina	0.0005
Aceite	0.001	Debutanizador, Depropanizador, Depentanizador y unidades de Alkilación:	
Para agua	0.002	Alimento	0.001
Fondos residuales, menos de 20° API	0.005	Vapores superiores	0.001
Fondos residuales, más de 20° API	0.002	Enfriadores de producto .	0.001
Estabilizador de gasolina natural:		Calderetas de producto ..	0.002
Alimento	0.0005	Alimento del reactor	0.002
Vapores superiores	0.0005	Unidades de tratamiento de lubricantes:	
Enfriadores de producto e intercambiadores	0.0005	Alimento de aceite solvente	0.002
Calderetas de producto ..	0.001	Vapores superiores	0.001
Unidades de eliminación de HS ₂ :		Aceite refinado	0.001
Para vapores superiores ..	0.001	Intercambiadores calentadores de aceite refinado enfriados por agua † ..	0.003
Intercambiadores enfriadores de solución	0.0016	Gomas y breas:	
Caldereta	0.0016	Generadores de vapor enfriados por aceite	0.005
Unidades de Cracking:		Enfriados por agua	0.003
Alimento gas-oil:		Solvente	0.001
Menos de 500°F	0.002	Unidades desasfaltizadoras:	
500°F y más	0.003	Aceite de alimento	0.002
Alimento de nafta:		Solvente	0.001
Menos de 500°F	0.002	Asfalto y resina:	
Más de 500°F	0.004	Generadores de vapor enfriados por aceite.	0.005
Separador de vapores vapores del separador, tanque flash, y vaporizador)	0.006	Enfriados por agua...	0.003
		Vapores de solvente	0.001